

BRIAN & DEBORAH CHARLESWORTH

EVRİM

KÜLTÜR KİTAPLIĞI 54

DOST

EVRİM

BRIAN & DEBORAH CHARLESWORTH

Türkçesi: SİNEM GÜL

BİLİM, BEŞ YÜZ SENEDEN DAHA AZ BİR ZAMAN ZARFINDA, KÖKENLERİMİZLE İLGİLİ TÜM DÜŞÜNCELERİMİZİ RADİKAL BİÇİMDE DÖNÜŞTÜRDÜ VE EVRENLE ARAMIZDAKİ İLİŞKİYİ TAMAMIYLA DEĞİŞTİRDİ. ALANIN TÜM DÜNYADA SAYGI GÖREN İKİ ARAŞTIRMACISI TARAFINDAN KALEME ALINAN BU ÇALIŞMA, EVRİMCİ BİYOLOJİNİN SEYRİNİ DARWIN VE WALLACE'IN 140 YIL ÖNCEKİ İLK YAYINLARINDAN İTİBAREN İZ SÜREREK ELE ALIYOR. YAŞLANMA OLGUSUNDAN KİMİ HAYVANLAR ARASINDA VAR OLAN DAYANIŞMACI RUHA DEK MODERN BİYOLOJİNİN TEMEL MERAK VE ARAŞTIRMA KONULARINA KADAR İNCELEN VE DERİNLEŞEN BİR BAŞVURU KILAVUZU.

Kültür Kitaplığı: 54; Bilim: 1



ISBN 975-298-271-9



D

KÜLTÜR KİTAPLIĞI: 54

D

Brian Charlesworth

Edinburgh Üniversitesi Hücre, Hayvan ve Nüfus Biyolojisi Enstitüsü'nde Royal Society Araştırma Profesörü ve Evrim Çalışmaları Topluluğu'nun eski başkanıdır. Araştırmaları evrim genetiği ve genom evrimi üzerinde yoğunlaşmıştır. *Evolution in Age-Structured Populations* (1994) adlı kitabın yazarıdır.

Deborah Charlesworth

Edinburgh Üniversitesi, Hücre, Hayvan ve Nüfus Biyolojisi Enstitüsü'nde profesör ve Avrupa Evrim Biyolojisi Topluluğu'nun eski başkanıdır. Araştırmaları bitkilerin üreme sistemlerinin evrimi üzerinde yoğunlaşmıştır.

Charlesworth, Brian & Deborah
Evrim
ISBN 975-298-271-9 / Türkçesi: Sinem Gül
Aralık 2006, Ankara, 173 sayfa
Kültür Kitaplığı: 54; Bilim: 1

EVRİM

Brian & Deborah Charlesworth

DOST

ISBN 975-298-271-9

Evolution
Brian & Deborah Charlesworth

Birinci baskı, Aralık 2006, Ankara

Türkçesi, Sinem Gül

Teknik hazırlık, Mehmet Dirican
Baskı, Pelin Ofset Ltd. Şti.; Mithatpaşa Cad. No: 62/4, Kızılay/Ankara

Dost Kitabevi Yayınları
Meşrutiyet Cad. No: 37/4, Yenişehir 06420 Ankara
Tel: (0.312) 435 93 70 • Faks: (0.312) 435 79 02
www.dostyayinevi.com • bilgi@dostyayinevi.com

İÇİNDEKİLER

John Maynard Smith'e

I. Bölüm

GİRİŞ

Biriz hepimiz sürünen şeylerle;
Ve maymunlarla insanlar
Kan kardeşleri.

Thomas Hardy, "Drinking Song"dan

Bilim topluluğundaki ortak düşünceye göre Yerküre, başlangıcı yaklaşık 14 milyar yıl öncesine dayanan ve sürekli genişleyen muazzam büyüklükte bir evrendeki milyarlarca galaksiden birindeki milyarlarca yıldız arasında yer alan gayet tipik bir yıldızın etrafında dönen bir gezegendir. Yerküre yaklaşık 4.6 milyar yıl önce, toz ve gazın kütleçekimi etkisiyle yoğunlaşması sonucunda oluşmuştur; Güneş'i ve güneş sisteminin diğer gezegenlerini oluşturan da bu süreçtir. Günümüzde yaşayan organizmaların tümü, 3.5 milyar yıldan fazla bir süre önce kimyasal yollardan oluşmuş, kendi kendilerine çoğalabilen moleküllerden gelmektedir. Sonradan oluşan canlılar Darwin'in deyişiyle "modifikasyon yo-

luyla türeme" süreci sonucunda ortaya çıkmışlardır ve dallara ayrılan bir soyağacıyla, yani yaşam ağacıyla birbirlerine bağlıdırlar. Biz insanların en yakın akrabaları, 6-7 milyon yıl öncesinde ortak bir atamız bulunan şempanzelerle gorillerdir. İçerisinde yer aldığımız memeli grubuyla günümüzde yaşayan sürüngen türlerinin yaklaşık 300 milyon yıl önce yaşamış ortak bir ataları bulunmaktadır. Tüm omurgalıların (memeliler, kuşlar, sürüngenler, ikiyaşayışlılar, balıklar) atası, 500 milyon yıldan fazla bir süre önce yaşamış olan, balığa benzer omurgasız küçük bir yaratıktır. Zamanda daha da geriye doğru gidildikçe, başlıca hayvan, bitki ve mikrop grupları arasındaki akrabalıkları saptamak zorlaşır, ama ileride de göreceğimiz gibi, genetik maddelerinde atalarının ortak olduğunu gösteren işaretler bulunmaktadır.

450 yıldan az bir süre önce tüm Avrupalı bilginler, Yerküre'nin en fazla birkaç milyon kilometrelik bir evrenin merkezi olduğuna ve gezegenlerin, Güneş'in ve yıldızların bu merkezin etrafında döndüğüne inanırlardı. 250 yıldan az bir süre önce, evrenin yaklaşık 6,000 yıl önce, temelde şu andaki haliyle yaratıldığına inanılırdı; ama bu döneme gelindiğinde Yerküre'nin de diğer gezegenler gibi Güneş'in etrafında döndüğü biliniyordu ve evrenin çok daha büyük olduğu düşüncesi yaygın kabul görmüştü. 150 yıldan az bir süre önceyse, Yerküre'nin bugünkü halinin en azından on milyonlarca yıl sürmüş bir jeolojik değişimin ürünü olduğu görüşü bilim adamları arasında hâkimiyet kazanmıştı, ama Tanrı'nın canlı türleri özel olarak yaratmış olduğu inancı gücünü hâlâ koruyordu.

Deneylere ve gözlemlere dayalı bilimsel çıkarım yönteminin dine ya da devlet otoritesine başvurulmadan uygu-

lanması, kökenimize ve evrenle ilişkimize dair görüşlerimizi 500 yıldan az bir süre içerisinde tümüyle dönüştürmüştür. Bilimin önümüzde açtığı dünya görüşünün bizi büyülemesinin ötesinde, felsefe ve din üzerinde de çok büyük bir etkisi olmuştur bunun. Bilimin bulguları insanın gayri şahsi güçlerin ürünü olduğunu ve üzerinde yaşadığımız dünyanın akıl almaz bir süredir var olan uçsuz bucaksız bir evrenin küçücük bir parçasını oluşturduğunu gösteriyor. Bilim adamlarının kişisel dini ya da felsefi inançları ne olursa olsun, tüm bilimsel araştırma programı evrenin bu temel üzerinden anlaşılabileceği varsayımı üzerine kurulmuştur.

Bu programın özellikle de insanla ilgili böylesine korkunç olaylara şahit olmuş 20. yüzyılda olağanüstü bir başarı kazanmış olduğuna pek az kişi itiraz edecektir. Bilim kısmen endüstriyel kitle toplumlarının başlattığı toplumsal değişimler, kısmen de geleneksel inanç sistemlerinin zayıflaması nedeniyle bu olaylara dolaylı bir katkıda bulunmuş olabilir. Yine de insan tarihi boyunca yaşanmış pek çok acıdan mantık sayesinde kaçınılabileceği ve 20. yüzyılda yaşanan felaketlerin akılcılığın başarısızlığı olmaktan çok akılcı olmayı başaramamanın sonucu olduğu söylenebilir. İçinde yaşadığımız dünyaya dair bilimsel anlayışımızın bilgece bir yaklaşımla uygulanması insanlığın geleceği için yegâne umuttur.

Evrim çalışmaları, Yerküre'de yaşayan diğer türlerle aramızdaki yakın bağı ortaya çıkarmıştır; küresel bir felaketten kaçınmak istiyorsak bu bağa saygı göstermek zorundayız. Bu kitabın amacı genel okura, 140 yılı aşkın bir süre önce Darwin'le Wallace'ın bu konu hakkındaki ilk yayınlarından bu yana gelişmiş olduğu haliyle evrim biyolojisinin en

önemli temel bulgu, kavram ve yöntemlerinden bazılarını tanıtmaktır. Evrim, biyolojinin tamamı için bir dizi birleştirici ilke sunar; insanların evrenle ve birbirleriyle ilişkilerine ışık tutar. Ayrıca, evrim konusunun pek çok yönü uygulamada da önem taşır; örneğin bakterilerin antibiyotiklere ve HIV'ın antivirüs ilaçlarına karşı direnç geliştirecek şekilde hızla evrimleşmeleri acil tıbbi sorunlar yaratmaktadır.

Bu kitapta ilk olarak, başlıca nedensel evrim süreçlerini tanıtacağız (2. Bölüm). 3. Bölüm'de temel biyolojik arka plan konusunda bilgi verilecek ve canlılar arasındaki benzerliklerin evrim terimleriyle nasıl anlaşılabileceği anlatılacak. 4. Bölüm'de evrimin, Yerküre'nin tarihine ve günümüzde yaşayan türlerin coğrafi dağılım modellerine dayalı kanıtları anlatılacak. 5. Bölüm'de doğal seçilim yoluyla uyarlanmaların evrimi, 6. Bölüm'de yeni türlerin gelişmesi ve türler arasındaki farklılıkların kökeni ele alınacak. 7. Bölüm'de evrim kuramıyla ilgili bazı zorlu sorunları tartışacağız. 8. Bölüm'deyse kısa bir özet verilecek.

II. Bölüm

EVRİM SÜREÇLERİ

Yerküre'deki yaşamı anlamak için, (insanlar da dahil olmak üzere) hayvanların, bitkilerin ve mikropların işlevlerinin ardındaki moleküler süreçler temelinde nasıl işlediklerini anlamalıyız. Biyolojinin "nasıl" sorusudur bu ve geçen yüzyılda yapılan sayısız araştırma sonucunda bu sorunun yanıtlanmasında çok yol kat edilmiştir. Bağımsız olarak var olabilen en basit organizmanın, yani bakteri hücresinin bile, hücrenin hayatta kalması ve bölünerek iki yavru hücre üretebilmesi için gerekli işlevleri yerine getirmek üzere koordinasyon içinde çalışan binlerce farklı protein molekülünden oluşan son derece karmaşık bir makine olduğunu göstermiştir bu çalışmalar (3. Bölüm). Sinek ya da insan gibi daha gelişmiş organizmalardaysa karmaşıklık daha da artar. Bir yumurtayla spermin birleşmesinden oluşan tek bir hücre olarak başlarlar yaşamlarına. Ardından, titizlikle kontrol edilen bir dizi hücre bölünmesi yaşanır ve sonuçta oluşan hücreler farklı tiplere ayrışır. Gelişim

süreci en sonunda, farklı doku ve organlardan oluşan çok iyi düzenlenmiş bir yapısı ve gelişmiş bir davranış kapasitesi bulunan yetişkin organizmayı üretir. Bu yapı ve işlev karmaşıklığının ardındaki moleküler mekanizmalar konusundaki bilgimiz giderek artmaktadır. Henüz yanıtlanmamış pek çok soru bulunmasına karşın biyologlar, canlıların örneğin insan bilinci gibi en karmaşık yönlerinin bile bilimsel analize tabi tutulabilecek kimyasal ve fiziksel süreçlerin işleyişini yansıttığına inanıyorlar.

Tek bir protein molekülünün yapı ve işlevinden insan beyninin örgütlenişine dek tüm düzeylerde pek çok *uyarlanma* örneğine rastlıyoruz: insanların tasarladığı makinelerde de olduğu gibi, yapının işleve uyması (bkz. 5. Bölüm). Farklı türlerin kendilerine özgü özellikleri olduğunu ve bu özelliklerin yaşadıkları ortama uyarlanmalarını yansıttığını da görüyoruz. Biyolojideki, organizmaların oldukları gibi olmalarına neden olan süreçlerle ilgili "neden" sorularını doğuruyor bu gözlemler. Evrim düşüncesinin ortaya çıkmasından önce biyologların çoğu bu soruyu Yaratıcı kavramına başvurarak yanıtlarlardı. Uyarlanma terimi 18. yüzyılda, yaşayan varlıkların özelliklerinde görülen tasarlanmış olma görüntüsünün doğaüstü bir tasarımcının varlığını kanıtladığını savunan İngiliz teologlar tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Felsefeci David Hume'un 18. yüzyıl ortasında bu savın mantıksal olarak kusurlu olduğunu kanıtlamasına karşın, inanılır bir alternatif sunulmadığı sürece bu sav insanların akıllarındaki etkisini korumuştur.

Evrim fikri, yaşayan tür çeşitliliğini ve bu türlerin ortamlarına böylesine iyi uyarlanmış olmalarını sağlayan özellikleri doğaüstü bir müdahaleye başvurmadan açıklaya-

bilecek bir doğal süreçler kümesi sunar. Bu açıklamalar insan türünün kökeni konusunu da kapsıyor elbette ve bu da biyolojik evrimi en tartışmalı bilimsel konu haline getiriyor. Ama bu konular önyargısız ele alındığında, bir tarihsel süreç olarak evrime dair kanıtların örneğin maddenin atomlardan oluşması gibi köklü bilimsel kuramlara dair kanıtlar kadar sağlam olduğu görülebilir (bkz 3. ve 4. bölümler). Evrimin nedenleri hakkında yeterince doğrulanmış bir dizi fikir de var elimizde; ama her sağlıklı bilimde olduğu gibi henüz çözülememiş sorunlarla ve bu konudaki anlayışımız geliştikçe ortaya çıkan yeni sorularla da karşılaşıyoruz (bkz 7. Bölüm).

Biyolojik evrim yaşayan organizma popülasyonlarının özelliklerinde zamanla yaşanan değişimleri içerir. Bu değişimlerin zaman ölçeklerinde ve boyutlarında büyük farklılıklar görülmektedir. Örneğin, (5. Bölüm'de de tartışıldığı gibi) bakteriyel enfeksiyonların kontrol altına alınması amacıyla penisilinin tıpta yaygın olarak kullanılmaya başlanmasından sonra penisiline dirençli bakteri soylarının görülme sıklığının birkaç yıl içinde artmasında olduğu gibi, tek bir özellikte basit değişimlerin görüldüğü durumlarda evrim bir insan ömrü içerisinde incelenebilir. Diğer uca bakıldığındaysa evrim örneğin sürüngenlerden memelilere geçiş sürecinde olduğu gibi milyonlarca yıl alan ve pek çok farklı özellikte değişim gerektiren, önemli bir yeni organizma tasarımının ortaya çıkması gibi olayları da içerebilir (bkz 4. Bölüm). Evrim kuramının kurucuları olan Charles Darwin'le Alfred Russel Wallace'ın temel içgörülerinden biri, her düzeydeki değişimin büyük olasılıkla aynı tipte süreçleri içereceğiydi. Büyük evrimsel değişimler genel-

likle, uzun bir süre boyunca birikmiş olan aynı tipte daha küçük değişimleri yansıtır (bkz 6. ve 7. bölümler).

Evrimsel değişim önünde sonunda, organizmaların yeni ve değişmiş formlarının ortaya çıkmasına dayanır: yani *mutasyonlara*. Mutasyonları, genetik maddedeki, ebeveynden gelecek kuşaklara aktarılan kalıcı değişimler yaratır. Pek çok farklı organizmada akla gelebilecek neredeyse her türlü özelliği etkileyen mutasyonlar deneyci genetikçiler tarafından laboratuarda incelenmiş ve tıp genetikçileri insan popülasyonlarında görülen binlerce mutasyonu kaydetmişlerdir. Bir organizmanın gözlemlenmesi mümkün özelliklerinde görülen mutasyonların etkilerinin boyutunda büyük farklılıklara rastlanabilmektedir. Aralarından bazılarının saptanabilecek hiçbir etkisi bulunmamaktadır ve varlıkları ancak, 3. Bölüm'de de anlatılacağı gibi, genetik maddenin yapısının doğrudan incelenmesinin artık mümkün olması sayesinde bilinebilmektedir. Bazılarınınsa örneğin göz renginin kahverengiden maviye dönmesi, bir bakterinin bir antibiyotiğe karşı direnç kazanması ya da bir meyve sineğinin kıl sayısının değişmesi gibi basit bir özellik üzerinde görece küçük etkileri bulunmaktadır. Kimi mutasyonlarsa gelişim üzerinde önemli bir etki yaratır; örneğin, *Drosophila melanogaster* adlı meyve sineğinin kafasında anten yerine bacak çıkmasına yol açan mutasyon. Herhangi türde yeni bir mutasyonun ortaya çıkması, kuşak başına yaklaşık yüz bin bireyde bir ya da daha az gibi bir sıklıkla görülen, çok ender bir olaydır. Örneğin antibiyotiğe karşı direnç gibi, mutasyon sonucunda değişmiş bir özellik başlangıçta tek bir bireyde görülür ve genellikle, tipik bir popülasyonda pek çok kuşak boyunca küçük bir kesimle

kısıtlı kalır. Evrimsel değişim yaratabilmesi için, başka süreçlerin sonucunda popülasyon içerisinde sıklığının artması gerekir.

Organizmaların yapılarıyla, işlevleriyle ve davranışlarıyla ilgili evrimsel değişim süreçleri arasında en önemlisi *doğal seçilimdir* (bkz. 5. Bölüm). Darwin ve Wallace *Journal of the Proceedings of the Linnaean Society*'de yayınlanan 1858 tarihli makalelerinde doğal seçilim yoluyla evrim kuramlarını şöyle açıklarlar:

- Her türde, normalde olgunluğa dek yaşayabilecek ve başarıyla üreyebilecek olandan daha fazla sayıda birey doğar ve bu nedenle bir *varoluş savaşımı* verilir.
- Popülasyonun sayısız özelliğinde, aralarından bazıları bir bireyin hayatta kalma ve yaşama yetisini etkileyebilecek *bireysel varyasyonlar* görülür. Dolayısıyla, belli bir kuşağın başarılı ebeveynleri bir bütün olarak popülasyondan farklı olabilirler.
- Bu varyasyonda *kalıtımsal bir unsur* bulunması olasıdır ve bu nedenle başarılı bireylerin soyundan gelenlerin özellikleri bir önceki kuşağın özelliklerinden, ebeveynlerinin özelliklerine benzer bir şekilde farklıdır.

Bu sürecin kuşaktan kuşağa sürmesi durumunda popülasyonda aşamalı bir dönüşüm yaşanacak ve hayatta kalma yetisinin ya da üreme başarısının gelişmesiyle bağlantılı özelliklerin sıklığı artacaktır. Bu değişmiş özelliklerin kökeni mutasyona dayanır, ama belli bir özelliği etkileyen mutasyonlar, seçilim tarafından kayırılsalar da kayırılmasalar da her zaman oluşurlar. Aslında çoğu mutasyonun organizma üzerinde ya hiçbir etkisi bulunmamaktadır ya

da hayatta kalma veya üreme yeteneğini azalttıkları görülmektedir.

Bireyin bedeninin ya da davranışlarının daha iyi bir performansa ulaşması hayatta kalma ya da üreme başarısını genellikle artıracağından, uyarlanmış özelliklerin gelişmesine getirilecek açıklama, hayatta kalma ya da üreme başarısını artıran varyant sıklığındaki artış sürecidir. Bir popülasyonun seçilimin daha önceden yerleştirmiş olduğu özelliklerden farklı bir özellikler kümesinin kayırılacağı değişmiş bir ortama maruz kalması durumunda böyle bir değişim sürecinin yaşanması olasılığı artar. Darwin'in 1858'de yazdığı gibi:

> Ama bir ülkenin harici şartlarını değişmeye bırakın... Şimdi, her bireyin yaşamını sürdürmek için verdiği savaşıma bakılarak, yapı, alışkanlık ya da içgüdülerdeki, bireyin yeni şartlara daha iyi uyarlanmasını sağlayacak herhangi bir küçük varyasyonun bireyin yaşam gücünü ve sağlığını etkileyeceğinden kuşku duyulabilir mi? Mücadelede hayatta kalma *şansı* daha fazla olacaktır; ve varyasyonu miras almış döllerinin de *şansı* birazcık da olsa daha fazla olacaktır. Her yıl hayatta kalabilecek olandan daha fazlası doğar; terazideki en ufak bir tanecik, uzun vadede, hangilerinin ölümün kucağına düşeceğini, hangilerinin hayatta kalacağını belirlemelidir. Bir kefeye seçilimin bu etkisini, diğer tarafa ölümü koyun, bin kuşak devam edin, bunun hiçbir etkisinin olmayacağını kim öne sürebilir?

Ama türlerin, bireylerin hayatta kalma ya da üreme başarılarını çok az etkileyen ya da hiç etkilemeyen ve do-

layısıyla doğal seçilime tabi olmayan özellikler açısından da nasıl farklılaşabileceklerini gösteren bir başka önemli evrimsel değişim mekanizması daha var. 6. Bölüm'de de göreceğimiz gibi bu durum özellikle, genetik maddedeki, organizmanın yapısını ya da işleyişini hiç etkilemeyen ya da çok az etkileyen geniş değişimler kategorisi için geçerli olabilmektedir. *Seçilim açısından etkisiz* bir çeşitlilik söz konusuysa ve farklı bireyler arasında hayatta kalma ya da doğurganlık açısından ortalama olarak bir farklılık oluşmuyorsa bile, yeni kuşağın ebeveyn kuşaktan biraz farklı olması mümkündür. Seçilimin olmaması durumunda yeni popülasyonun genlerinin ebeveyn popülasyonun genlerinin rasgele bir örneklemesi olmasıdır bunun nedeni. Gerçek popülasyonların boyutları sınırlıdır ve tıpkı bir parayı on kez fırlattığımızda beş kez yazı beş kez tura gelmesini bekleyemeyeceğimiz gibi, yeni popülasyonun bileşimi rastlantılara bağlı olarak ebeveyn kuşaktan bir şekilde farklı olacaktır. Bu rasgele değişim sürecine *genetik sürüklenme* adı verilir. Örneğin bakteriler gibi en kalabalık biyolojik popülasyonların bile boyutları sınırlıdır ve bu nedenle genetik sürüklenme her zaman görülür.

Mutasyon, doğal seçilim ve rasgele genetik sürüklenme sürecinin etkileri birleşerek bir popülasyonun bileşiminde değişimler yaratır. Yeterince uzun bir süre sonunda bu etkiler birikerek popülasyonun genetik yapısını değiştirebilir ve böylece türün özelliklerini atalarına kıyasla büyük oranda farklılaştırabilir.

Günümüzde çok sayıda farklı türün bulunmasında gözlediğimiz yaşam çeşitliliğinden daha önce de bahsetmiştik. (Neredeyse tüm türlerin nihai kaderi 4. Bölüm'de de

anlatılacağı gibi soylarının tükenmesi olduğundan, geçmiş yaşam tarihinde çok daha fazla tür yaşamış olmalı). Yeni türlerin nasıl geliştikleri sorusu çok önemli bir sorudur ve 6. Bölüm'de ele alınmaktadır. "Tür" terimi tanımlanması zor bir terimdir ve aynı türün üyeleri olan popülasyonlarla ayrı türlere ait popülasyonlar arasındaki çizginin çekilmesi kimi zaman çok zor olabilmektedir. Evrim konusunu düşünürken, eşeyli olarak üreyen iki popülasyonun birbirleriyle melezleşerek üreyememeleri durumunda farklı türler olarak görülmeleri mantıklı olacaktır; bu türlerin evrim kaderleri birbirlerinden tümüyle ayrıdır. Dolayısıyla, başka bir yerden gelmiş göçmen bireylerin melezleşmelerinin önünde hiçbir engel olmadığından, dünyanın farklı yerlerinde yaşayan insan popülasyonlarının aynı türün üyeleri olduklarından hiçbir kuşku bulunmamaktadır. Bu göçler aynı türün farklı popülasyonlarının genetik yapılarının çok fazla farklılaşmasını engeller. Oysa aynı bölgede yaşayan şempanzelerle insanlar melezleşemediklerinden, kesinlikle ayrı türlerin üyeleridirler. İleride de anlatacağımız gibi, insanlarla şempanzelerin genetik maddeleri arasındaki farklılık da, farklı insanların genetik maddeleri arasındaki farklılıktan çok daha fazladır. Yeni bir türün oluşumu, söz konusu popülasyonlar arasındaki melezleşmeyi önleyecek engeller içermelidir. Bu tür engeller oluştuğunda popülasyonlar mutasyon, seçilim ve genetik sürüklenme sonucunda birbirlerinden farklılaşabilirler. Bu farklılaşma süreci en sonunda, yaşam çeşitliliğini doğurur. Melezleşmenin önündeki engellerin nasıl oluştuğunu ve bunun sonucunda popülasyonların birbirlerinden nasıl farklılaştıklarını anlayabilirsek, türlerin kökenini de anlayabiliriz.

Tıpkı gökbilimcilerle fizikçilerin daha iyi anlayabilmek ve kuramlarını ayrıntılı olarak test edebilmek için yıldızların, gezegenlerin, moleküllerin ve atomların davranışlarının modellerini çıkarmalarında olduğu gibi ayrıntılı olarak modellenebilecek matematiksel kuramların gelişmesiyle birlikte sağlam bir temele oturtulmuş olan bu düşüncelerin ışığında pek çok biyolojik veri yerli yerine oturur. Evrim mekanizmalarını daha ayrıntılı olarak (ama matematiği dışarıda bırakarak) anlatmaya geçmeden önce, bir sonraki iki bölümde, ne tür biyolojik gözlemlerin özel olarak yaratılma düşüncesinin aksine evrim terimleriyle mantıklı göründüğü anlatılacak.

III. Bölüm

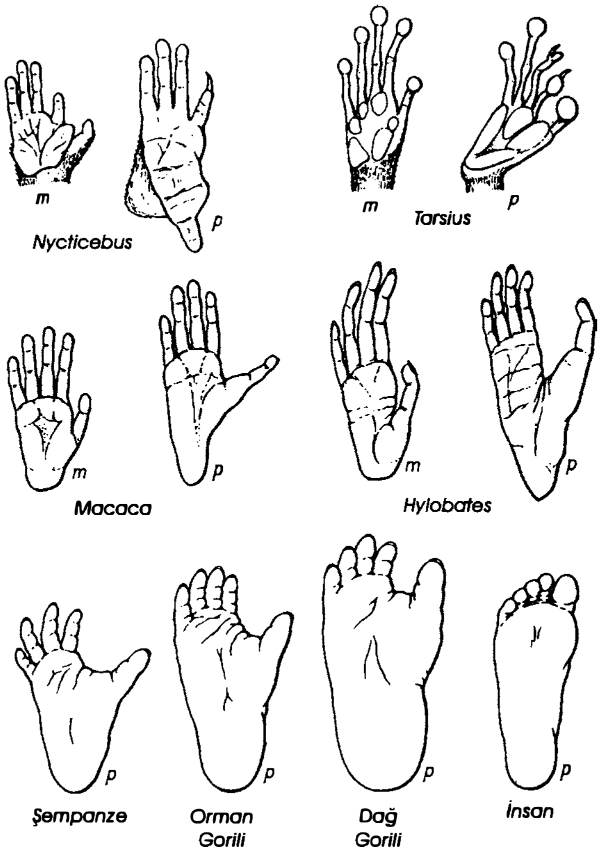
EVRİMİN KANITLARI: ORGANİZMALAR ARASINDAKİ BENZERLİKLER VE FARKLILIKLAR

Evrim kuramı, farklı hayvan, bitki ve mikrop türleri arasındaki hepimizin gayet iyi bildiği farklılıkları içeren yaşam çeşitliliğini açıklar, ama aynı zamanda, aralarındaki temel benzerlikleri de açıklamaktadır. Genellikle dışarıdan gözlenebilen özelliklerde görülür bu benzerlikler, ama mikroskobik yapının ve biyokimyasal işlevlerin en ince ayrıntılarına dek de uzanırlar.

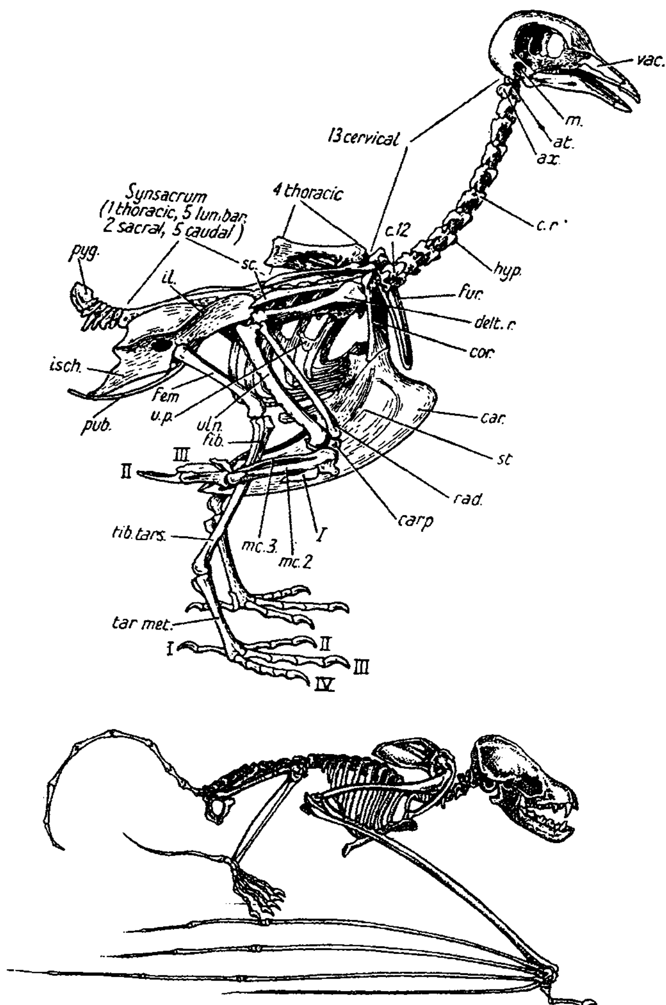
Yaşam çeşitliliği konusunu bu kitabın daha sonraki bölümlerinde (bkz. 6. Bölüm) tartışacak ve atasal formlardan kaynaklanan yeni formların oluşmasının evrim kuramıyla nasıl açıklanabileceğini anlatacağız; ama bu bölümde, bugün yaşayan türlerin bütünlüğü üzerinde duracağız. Ayrıca, daha sonraki bölümlere temel oluşturacak pek çok temel önemdeki biyolojik gerçekten bahsedeceğiz.

Dışarıdan görülebilen bildik benzerliklerden yaşam çevrimlerindeki ve genetik madde yapısındaki derin benzerliklere dek her düzeyde, birbirlerinden son derece farklı organizmalar arasında bile benzerlikler görülür. İnsan ve bakteri gibi son derece farklı yaratıklar arasında bile bu tür benzerliklere rastlanır. Ortak atalardan türemeye yol açan evrim süreci nedeniyle organizmaların birbirleriyle akraba olmaları düşüncesi bu benzerliklere doğal ve anlaşılır bir açıklama getirmektedir. Şekil 1A'da da görüldüğü gibi bizimle insansımaymunlar arasında, beynin yapısı ve örgütlenmesi gibi dahili özelliklerdeki benzerlikleri de içeren bariz benzerlikler bulunmaktadır. Maymunlarla aramızda daha az da olsa benzerlikler bulunmaktadır ve aramızdaki tüm farklılıklara rağmen memelilerle aramızda daha da küçük, ama yine de son derece açık benzerlikler görülmektedir. Memelilerle diğer omurgalılar arasında iskeletlerinin ve sindirim, dolaşım ve sinir sistemlerinin temel yapısı da dahil olmak üzere pek çok benzerliğe rastlanır. Örneğin böcekler gibi canlılarla bölütlü beden tasarımları, ortak uyku ihtiyaçları, günlük uyku ve uyanma ritimlerinin kontrolü gibi benzerliklere ve pek çok farklı hayvan türünde başka özelliklerin yanı sıra sinirlerin işleyişinde temel benzerliklere rastlanması daha da şaşırtıcıdır.

Biyolojik sınıflandırma sistemleri uzun zamandır, gözle kolayca görülebilen yapısal özelliklere dayandırılmıştır. Örneğin böcekler bilimsel biyoloji çalışmalarından bile önce yumuşakçalar gibi diğer omurgasız gruplarından bedenlerinin bölütlü olması, altı çift eklemli bacaklarının olması ve



1. A. Çeşitli primat türlerinin elleri (m) ve ayakları (p), farklı türler arasındaki benzerlikleri ve örneğin tırmanıcı türlerin karşılıklı durabilen parmakları gibi, hayvanların farklı yaşam tarzları sürmelerine bağlı farklılıkları gösteriyor. (*Hylobates* gibon, *Macaca* al yanaklı şebek, *Nycticebus* ve *Tarsius* ise ağaçlarda yaşayan ilkel primatlardır). B. Yarasa ve kuş iskeletleri, aralarındaki benzerlikleri ve farklılıkları gösteriyor.


vac.
m.
at.
ax.
13 cervical
c.r.
hyp.
c.12
Synsacrum
(1 thoracic, 5 lumbar,
2 sacral, 5 caudal)
4 thoracic
pyg.
sc.
il.
fur.
delt. r.
cor.
isch.
Fem
u.p.
pub.
uln.
fib.
car.
st
III
II
rad.
carp
tib. tars.
mc.3.
mc.2
I
tar met.
I
II
III
IV

bedenlerinin dış tarafında sert bir koruyucu kabuklarının bulunması gibi özellikleriyle ayrıt edilebilen, birbirlerine benzer bir canlı grubu olarak görülürdü. Bu özelliklerin çoğunu yengeçler ya da örümcekler gibi hayvanlarla paylaşırlar; yalnızca bacak sayıları farklı olabilir (örneğin örümceklerin sekiz bacağı bulunmaktadır). Bu farklı türler tek bir büyük grup içinde toplanır: eklembacaklılar. Eklembacaklılar böcekleri de içine alır ve böcekler grubunda sinekler, başka pek çok ortak özelliklerinin yanı sıra yalnızca tek bir çift kanatlarının olmasıyla tek bir grup oluştururlar. Kelebekler ve güveler, iki çift kanatlarının üzerinde ince pullar olan bir başka böcek grubunda yer alır. Sineklerde karasinekle akrabalarını diğer gruplardan ortak özellikleriyle ayırır ve örneğin bayağı karasinek *Musca domestica* gibi bireysel *türler* saptarız. Türler temelde, birbirleriyle melezleşebilen benzer bireylerin oluşturduğu gruplardır. Benzer türler aynı cins içerisinde toplanır ve bu cinslerde başka cinslerle ortak olmayan bir dizi özellik görülür. Biyologlar ayırt edilebilen her türü iki adla tanımlarlar: Cins adı ve ardından türün kendi adı, örneğin *Homo sapiens*. Bu adlar geleneksel olarak italikle yazılır.

Organizmaların hiyerarşik olarak, başka gruplarda görülmeyen ortak özellikleri giderek artan gruplar içerisinde sınıflandırılabileceği gözlemi biyolojide önemli bir ilerlemeydi. Organizmaların türler içerisinde sınıflandırılması ve türler için kullanılan adlandırma sistemi Darwin'den çok önce başlamıştı. Biyologların türlerin evrimi konusunu düşünmeye başlayabilmelerinden önce, türlerin ayrı varlıklar olarak görülmesi kavramının bulunması gerekiyordu. Hiyerarşik benzerlikler modelini açıklamanın en kolay ve doğal yolu, yaşayan organizmaların çeşitlenerek günü-

müzdeki grupları ve ayrıca günümüzde soyu tükenmiş sayısız organizmayı oluşturan atasal formlardan zaman içerisinde evrimleştikleridir (bkz 4. Bölüm). 6. Bölüm'de de tartışacağımız gibi, organizma grupları arasındaki bu akrabalık modelini genetik maddelerindeki bilgiyi doğrudan inceleyerek saptamak artık mümkündür.

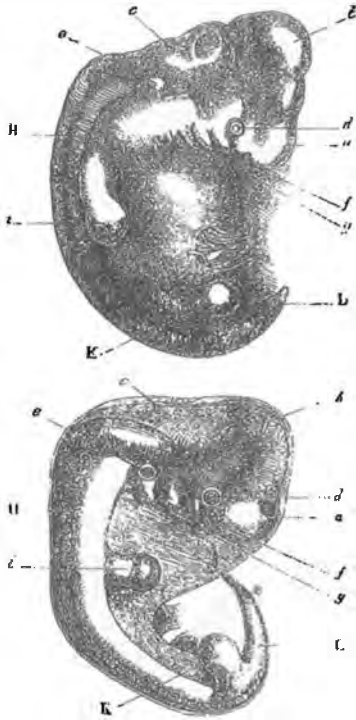
Evrim kuramını destekleyen bir diğer olgu dizisi, aynı yapının farklı türlerde görülen modifikasyonlarıdır. Örneğin yarasalarla kuşların kanat kemikleri, diğer omurgalıların ön bacaklarından çok farklı olsalar da, modifikasyon geçirmiş ön bacaklar olduklarını açıkça belli eder (Şekil 1B). Aynı şekilde, balinaların yüzme ayaklarının balık yüzgecine çok benzemesine ve yüzmeye çok iyi uyarlanmış olduklarının açıkça görülmesine karşın, iç yapıları diğer memelilerin ayaklarına benzer. Balinaların modifikasyon geçirmiş memeliler olduklarını gösteren diğer tüm kanıtlar da (örneğin akciğerleriyle nefes almaları ve yavrularını emzirmeleri) göz önüne alındığında çok mantıklıdır bu. Fosillerden elde edilen kanıtlar, kara omurgalılarının sahip oldukları iki çift bacağın, (yaşayan en ünlü temsilcileri koelakantlar olan – bkz 4. Bölüm) saçakyüzgeçli balıkların iki çift yüzgecinden türemiş olduğunu gösterir. Bir diğer örnek de memelilerin kulaklarındaki, dışarıdan gelen sesi sinir sinyallerine dönüştürülecekleri organa aktaran üç küçük kemiktir. Bu küçük kemikler embriyonun çene ve kafatasındaki parçalardan gelişir ve sürüngenlerde gelişim sırasında büyüyerek kafa ve çene iskeletinin parçalarını oluştururlar. Sürüngenleri memelilere bağlayan fosil ara türlerin yetişkinlerinde bu kemiklerde birbirini izleyen modifikasyonlar görülür ve sonunda kulak kemiklerine dönüşürler.

Bu örnekler, evrim sırasında aynı temel yapının farklı işlevlerin dayattığı talepler nedeniyle önemli oranda modifikasyon geçirdiği bilinen pek çok örnekten yalnızca birkaçıdır.

Embriyo Gelişimi ve Körelmiş Organlar

Embriyo gelişimine bakıldığında, farklı organizma grupları arasında başka pek çok çarpıcı benzerlik örneğine rastlanmakta ve bu benzerlikler ortak bir atadan geldiklerine işaret etmektedir. Farklı türlerde yetişkinler arasında büyük farklılıklar görülse bile embriyo yapılarının genellikle son derece benzer olduğu görülür. Örneğin, memeli gelişiminin bir aşamasında balık embriyolarındakilere benzer solungaç yarıkları ortaya çıkar (Şekil 2). Balığa benzer atalardan türemiş olmamız durumunda bu çok mantıklıdır, aksi takdirdeyse açıklanması mümkün değildir. Organizmanın çevresine uyarlanmasını sağlayan yetişkinlerin yapıları olduğundan, seçilim sonucunda büyük olasılıkla bunlar modifikasyon geçirmektedir. Belki de gelişmekte olan kan damarlarının doğru yerlerde oluşmaları için kendilerine kılavuzluk edecek solungaç yarıklarına gerek vardır ve bu nedenle, işlevli solungaçları olmayan hayvanlarda bile bu yapılar korunur. Ama embriyo gelişimi de evrimleşebilir. Başka pek çok ayrıntıya bakıldığında memeliler balıklardan çok farklı şekilde gelişirler ve bu nedenle gelişimde daha az önemli olan başka embriyo yapıları kaybedilirken yeni yapılar kazanılmış olabilir.

Benzerlikler embriyo aşamalarıyla kısıtlı değildir. *Körelmiş organların* günümüzde yaşayan organizmaların atalarının-



Şekil 1. Yukarıda insan embriyosu, Ecker'dan. Aşağıda köpek embriyosu, Bischoff'tan.

a. Önbeyin, beyin yarıküreleri
b. Orta beyin, dördüz cisim.
c. Arka beyin, beyincik, omurilik soğanı.
d. Göz.
e. Kulak
f. Birinci solungaç yayı.
g. İkinci solungaç yayı.
H. Gelişim sürecinde omurga ve kaslar
i. Ön } bacaklar
K. Arka
L. Kuyruk ya da kuyruk kemiği.

2. İnsan ve köpek embriyoları, gelişimin bu aşamasında birbirlerine ne kadar çok benzediklerini gösteriyor. Şekilde solungaç yayları (f ve g) olarak adlandırılan solungaç yarıkları kolayca fark ediliyor. Darwin, *İnsanın Türeyişi ve Cinsel Seçilim* (1871).

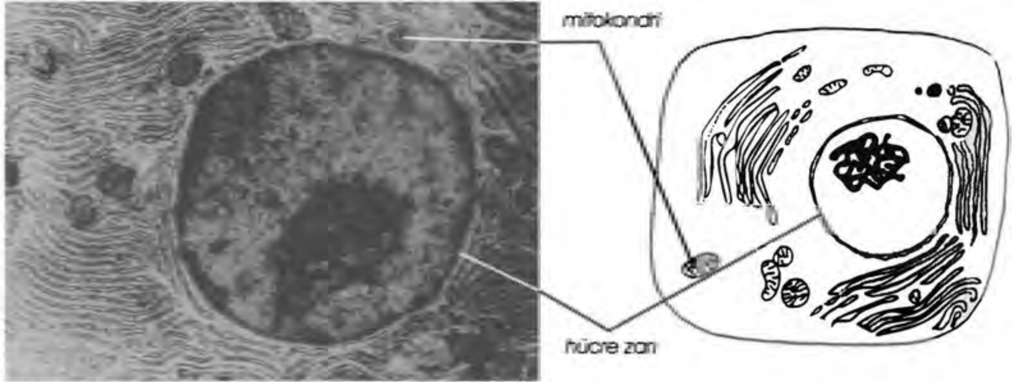
da bir zamanlar kullanılan yapıların kalıntıları olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Bu tür örnekler evrimin yapıları her zaman yaratıp geliştirmediğini, bazen de küçülttüğünü gösterdiğinden, bunların evrimi son derece ilgi çekicidir. Sindirim yolunun orangutanlarda oldukça büyük olan bir parçasının büyük oranda küçülmüş bir çeşitlemesi olan insan apandisi klasik bir örnektir. Bacaksız hayvanlarda körelmiş bacaklar olduğu da gayet iyi bilinmektedir. İlkel yılanlara ait fosillerde, yılanların kertenkeleye benzer, bacakları olan atalardan evrimleşmiş olduklarına işaret eden neredeyse eksiksiz arka bacaklar bulunmuştur. Günümüzdeki yılanların bedenlerinde, çok sayıda omuru olan (pitonlarda 300'den fazla) uzun bir göğüs vardır. Pitonda bedenden kuyruğa geçiş kaburgaları olmayan bir omurla belirginleşir ve bu noktada gelişmemiş arka bacaklara rastlanır. Gelişimi diğer omurgalılardaki normal seyri izleyen bir çift güdük uyluk kemiği ve leğen kemeri vardır; normalde bacak gelişimini kontrol eden aynı genlere işaret eden bir durumdur bu. Piton arka bacak dokusunun nakledilmesi tavuk kanatlarında fazladan bir bölmenin oluşmasını teşvik edebilmektedir ve bu da pitonlarda arka bacak gelişim sisteminin bazı parçalarının hâlâ durduğunu gösterir. Daha gelişmiş yılan tiplerindeyse hiç bacak yoktur.

Hücrelerdeki ve Hücre İşlevlerindeki Benzerlikler

Farklı organizmalarda karşılaştığımız benzerlikler gözle görülür özelliklerle sınırlı değildir. En küçük mikroskobik

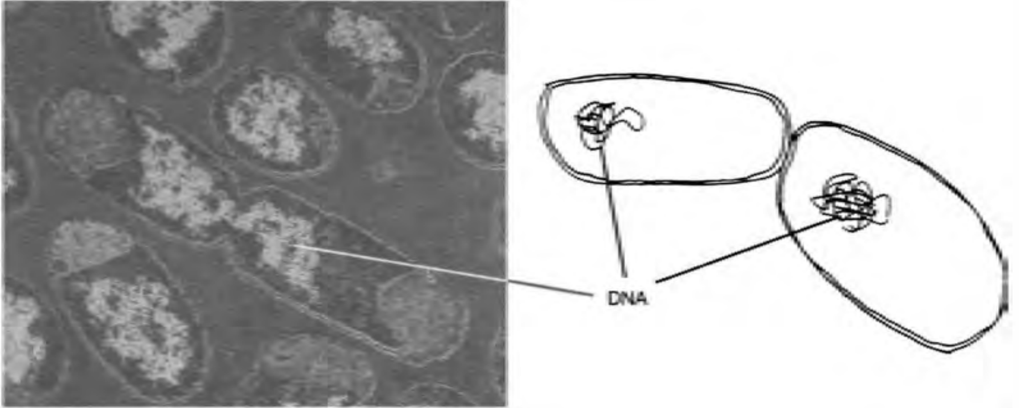
ölçeğe ve yaşamın en temel yönlerine dek uzanabilen köklü benzerliklerdir bunlar. Tüm hayvan, bitki ve mantarların temel özelliklerinden biri, dokularının temelde benzer birimlerden, yani *hücrelerden* oluşmasıdır. Tekhücreli maya ve bakterilerden memelilerinki gibi son derece farklılaşmış dokuları bulunan çokhücrelilere dek, virüsler haricinde tüm organizmaların bedenlerinin temeli hücredir. *Ökaryotlarda* (bakteriler hariç tüm hücreli canlılar) hücre, *sitoplazmadan* ve içindeki, genetik maddeyi içeren *çekirdekten oluşur* (Şekil 3). Sitoplazma, hücre zarı içindeki, çekirdeğin içinde yüzdüğü bir sıvıdan ibaret değildir; pek çok hücrealtı yapı da dahilolmak üzere karmaşık mekanizma parçaları içerir. Bu hücre *organellerinin* en önemlilerinden ikisi, hücrelerin enerjisini üreten mitokondri ve yeşil bitkilerin hücrelerinde fotosentezin gerçekleştiği kloroplasttır. Bunların her ikisinin de hücreye yerleşmiş ve temel bir unsur olarak bütünleşmiş bakterilerden gelişmiş oldukları artık bilinmektedir. Bakteriler de hücredir (Şekil 3), ama çekirdekleri ya da organelleri olmayan basit hücrelerdir; bunlara ve benzer organizmalara *prokaryot* adı verilir. Hücreli olmayan yegâne canlılar olan virüsler başka organizmaların hücreleri içerisinde üreyen asalaklardır ve genetik maddeyi saran bir protein kılıfından ibarettirler.

Hücreler, organizmaların gerek duyduğu kimyasal maddeleri, enerjiyi ve hayvanların kemikleri gibi beden yapılarını üreten son derece küçük ve karmaşık fabrikalardır. Bu fabrikalardaki "makine"lerin çoğunluğunu ve yapıların pek çoğunu *proteinler* oluşturur. Bazı proteinler bir kimyasal maddeyi alıp üzerinde bir işlem yürüten, örneğin bir kimyasal bileşiği tıpkı bir makas gibi iki parçaya bölen *enzim-*



3. Prokaryot ve ökaryot hücreleri

A. Memeli pankreasından hücre mikrografisi ve çizimi, çekirdek zarının içindeki kromozomların bulunduğu çekirdeği, çekirdek dışındaki, çok sayıda mitokondrinin (bu organellerin de zarları vardır) bulunduğu bölgeyi ve protein sentezinde ve atımında ve hücre içine madde alımında etkili olan zara benzer yapıları gösteriyor. Mitokondri bir bakteri hücresinden biraz daha küçüktür.



B. Bir bakteri hücresinin çizimi ve elektron mikrografisi, bir hücre duvarından ve çekirdek içerisinde yer almayan DNA'dan oluşan basit yapısını gösteriyor.

lerdir. Biyolojik deterjanlarda kullanılan enzimler, (kan ve ter proteinleri gibi) proteinleri kirli giysilerden yıkanarak çıkartılabilecek küçük parçalara ayırır; bağırsağımızdaki benzer enzimler de yiyecek moleküllerini hücrelerin kabul edebileceği küçük parçalara böler. Canlı organizmalarda bulunan başka proteinlerin depolama ya da aktarma işlevleri bulunmaktadır. Alyuvar hücrelerindeki hemoglobin oksijen taşır ve karaciğerde ferritin adlı bir protein demiri bağlar ve depolar. Örneğin deri, saç ve tırnakları oluşturan keratin gibi yapı proteinleri de vardır. Ayrıca hücreler de bilgiyi öteki hücrelere ve organlara taşıyan proteinler üretir. Hormonlar, kanla dolaşan ve pek çok bedensel işlevi kontrol eden tanıdık haberci proteinlerdir. Hücre yüzeylerinde bulunan ve diğer hücrelerle iletişim kurma sürecine katılan başka proteinler de vardır. Bu etkileşimler arasında embriyo gelişimi sırasında hücre davranışının kontrolü amaçlı haberleşme, döllenme sırasında yumurtayla sperm arasındaki iletişim ve bağışıklık sisteminin asalakları tanıması yer alır.

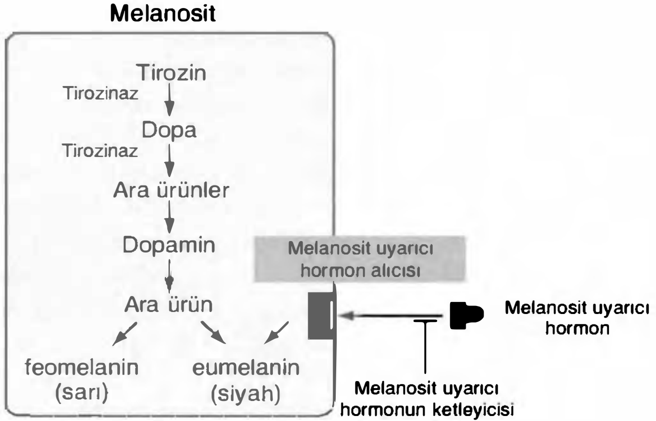
Tıpkı bir fabrika gibi hücreler de karmaşık kontrollere tabidir. Dışarıdan gelen bilgiye (hücre zarını dış dünyadan gelen moleküllere uyan anahtar delikleri gibi saran proteinler aracılığıyla –bkz Şekil 4) tepki verirler. Koku alıcıları ve ışık alıcıları gibi duyu alıcısı proteinler hücrelerle ortamları arasındaki iletişimde kullanılır. Dış dünyadan gelen kimyasal ya da ışıklı sinyaller sinirler yoluyla beyne ulaşan elektrik darbelerine dönüştürülür. İncelenmiş olan tüm hayvanlarda kimyasal maddelerin ve ışığın algılanmasında büyük oranda benzer proteinler kullanılmaktadır. Farklı organizmaların hücrelerinde keşfedilmiş benzerliklere ör-

nek olarak, kas hücrelerindeki proteinlere benzeyen bir miyosin (motor) proteini sineklerin gözlerinde ve insanların kulaklarında haberleşme sürecine katılır; bir tür sağırlığın nedeni, bu proteinle bağlantılı gende oluşan mutasyonlardır.

Biyokimyacılar canlı organizmalardaki enzimleri pek çok farklı tür içerisinde sınıflandırmışlardır ve bilinen enzimlerin tümünün (biz insanlar gibi karmaşık hayvanlarda binlerce enzim bulunmaktadır) uluslararası bir numaralandırma sistemi içerisinde bir numarası bulunmaktadır. Çok çeşitli organizmaların hücrelerinde çok sayıda enzim bulunduğundan, bu sistemde enzimler ait oldukları organizmalara değil, yaptıkları işlere göre sınıflandırılır. Örneğin sindirim enzimleri gibi bazı enzimler molekülleri parçalara ayırır, bazı enzimler molekülleri birleştirir, bazılarıysa kimyasal maddeleri okside eder.

Hücrelerin gıda kaynaklarından enerji üretmekte başvurdukları yöntemler tüm hücre türlerinde büyük oranda aynıdır. Bu süreçte bir enerji kaynağı bulunmaktadır (bizim hücrelerimizde şeker ya da yağ, ama bazı bakterilerde örneğin hidrojen sülfidi gibi başka bileşikler). Hücre başlangıçtaki bileşiği bazıları enerji salan bir dizi kimyasal adım yoluyla alır. Bu tür bir *özüştürüm yolu* arka arkaya alt süreçlerin gerçekleştiği bir montaj hattı gibi düzenlenmiştir. Her alt süreç kendi protein "makinesi" tarafından gerçekleştirilir; yoldaki çeşitli adımlar için kullanılan enzimlerdir bunlar. Pek çok organizmada aynı yol kullanılır ve günümüz biyoloji kitaplarında organizmayı belirtmeye gerek duyulmadan önemli özüştürüm yolları gösterilir. Örneğin kertenkelelerin koştuktan sonra yorulmalarının nedeni tıpkı bizim

kaslarımızda olduğu gibi laktik asit adlı kimyasal maddenin oluşmasıdır. Hücrelerde çok farklı türlerde kimyasal maddeleri üretme ve ayrıca, yiyeceklerden enerji üretme amaçlı özüştürüm yolları vardır. Örneğin, hücrelerimizin bazıları saçları, bazıları kemikleri, bazıları pigmentleri oluşturur, bazılarıysa hormonları üretir. Melanin adlı deri pigmentinin



4. Memeli melanosit hücrelerinde melaninin ve sarı pigmentin aminoasit öncelleri olan trozinden sentez edildiği biyosentez yolları. Yoldaki her bir adımın ayrı bir katalizörü bulunmaktadır. Aktif tirozinaz enziminin bulunmaması hayvanların albino olmasına yol açar. Melanosit uyarıcı hormon alıcısı siyah ve sarı pigmentlerin göreceli miktarlarını belirler. Hormonun ketleyicisinin bulunmaması siyah pigment sentezine yol açar, ketleyicinin bulunması ise alıcıyı "kapatır" ve sarı pigment oluşumuna neden olur. Tekir kedi ya da kahverengi fare kıllarının sarı ya da siyah bölümleri böyle oluşmaktadır. Ketleyicinin etkili olamamasına yol açan mutasyonlar daha koyu bir renk yaratır; ama siyah hayvanlar genellikle bunun sonucu değildir; yalnızca, hormon düzeyine bağlı olmaksızın alıcı "açık" konumdadır.

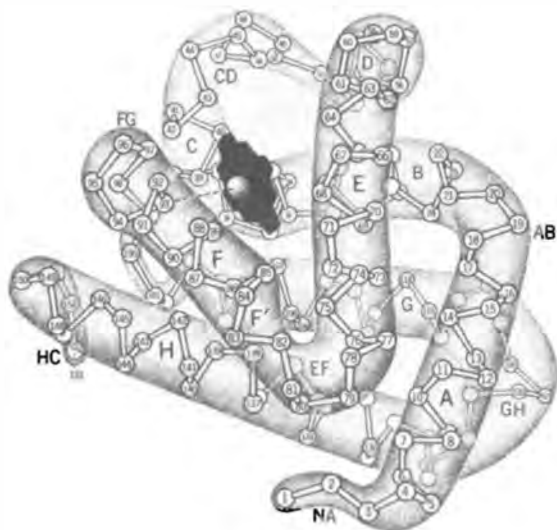
oluşturulduğu yol (Şekil 4) bizde, öteki memelilerde, siyah kanat pigmentleri bulunan kelebeklerde ve hatta mantarlarda (örneğin siyah sporlarda) aynıdır ve bu yolla bağlantılı enzimlerin pek çoğu bitkiler tarafından odunun başlıca kimyasal bileşeni olan odunözünün oluşturulmasında kullanılır. Bakterilerden memelilere çeşitli canlılarda özüştürüm yollarının temel özellikleri arasında görülen benzerlik evrim terimleri içerisinde kolayca anlaşılabilmektedir.

Bu hücrelerde ve beden işlevlerinde kullanılan farklı proteinlerin her biri, bu bölümün ilerleyen kısımlarında daha ayrıntılı olarak açıklayacağımız gibi, organizmanın genlerinden biri tarafından belirlenir. Her biyokimyasal yolun işleyişi enzimlerine bağlıdır. Bir yoldaki herhangi bir enzimin çalışmaması durumunda, tıpkı montaj hattı sürecindeki bir arızanın üretimi durdurması gibi, nihai ürün üretilemeyecektir. Örneğin albino mutasyonlarının nedeni, melanin adlı pigmentin üretimi için gerekli olan bir enzimin eksikliğidir (Şekil 4). Bir yoldaki bir adımın durdurulması hücre mekanizmasının ürününü kontrol etmek için yararlı bir yöntemdir ve bu nedenle hücrelerde, örneğin melanin üretiminin kontrolünde olduğu gibi, bu tür kontrol işlevlerini yürütecek inhibitörler bulunmaktadır. Bir başka örnek vermek gerekirse, kan pıhtılaşmasını oluşturan protein dokularda bulunmaktadır, ama çözünür formdadır ve ancak bu haberci molekülden bir parça kesilmesi halinde pıhtılaşma oluşur. Bu proteini kesen bir enzim de mevcuttur, ama normalde aktif değildir; kan damarları zarar gördüğünde pıhtılaşma enzimini hemen aktif olacak ve böylece protein pıhtılaşmasını oluşturacak şekilde değiştiren faktörler salınır.

Proteinler, her biri komşu bir *aminoasitle* birbirine bağlanıp bir zincir oluşturan düzinelerce ila yüzlerce aminoasitten oluşan çok büyük moleküllerdir. Her aminoasit, kendine özgü kimyasal özelliklere ve boyuta sahip oldukça karmaşık bir moleküldür. Canlı organizmaların proteinlerinde yirmi ayrı aminoasit kullanılmaktadır; örneğin alyuvar hücrelerimizdeki hemoglobin gibi belli bir proteinde belli bir düzen içinde kendine özgü bir aminoasit kümesi görülür. Aminoasit dizilişi doğru olduğunda protein zinciri kıvrılarak çalışan protein şeklini alır. Bir proteinin karmaşık üç boyutlu yapısı bileşen zincir ya da zincirlerindeki aminoasit dizilişi tarafından belirlenir; bu diziliş de, kısa bir süre sonra açıklayacağımız gibi, proteini üreten genin *DNA*'sının (Şekil 5B) kimyasal birimlerinin dizilişi tarafından belirlenir.

5. A. Miyoglobin (alyuvar hücresi proteini hemoglobine benzer bir kas proteini) adlı proteinin üç boyutlu yapısı, protein zincirindeki, 1-150 arasında numaralandırılmış olan aminoasitleri ve proteinin tuttuğu demir içeren hem molekülünü gösteriyor. Hem molekülü oksijeni ya da karbondioksiti bağlar ve proteinin görevi bu gaz moleküllerini taşımaktır. B. Çoğu organizmada genetik maddeyi taşıyan molekül olan DNA'nın yapısı. Bir sarmal halinde birbirlerinin etrafına dolanmış olan birbirini tamamlayıcı iki zincirden oluşur. Her zincirin omurgası, birbirlerine fosfat (P) molekülleriyle bağlanmış olan dezoksiriboz (S) adlı şeker moleküllerinden oluşmaktadır. Her şeker, nükleotid adı verilen bir molekül tipine bağlıdır; bunlar genetik alfabenin "harf"lerini oluştururlar. Dört tip nükleotid vardır: adenin (A), guanin (G), sitozin (C) ve timin (T). Bir zincirdeki belli bir nükleotid, ikili çizgilerin de gösterdiği gibi, diğer zincirden tamamlayıcı bir nükleotidle bir çift oluşturur. Burada kural A'nın T'ye ve G'nin C'ye bağlanmasıdır. Hücre bölünmesi sırasında DNA kopyalandığında iki zincir çözülür ve bu kurala göre her ebeveyn zincirden tamamlayıcı bir yavru zincir sentez edilir. Bu şekilde, ebeveyn moleküldeki, A'nın T'ye bağlandığı bir yer yavru moleküllerin her birinde A ve T'nin olduğu bir yer üretir.

A



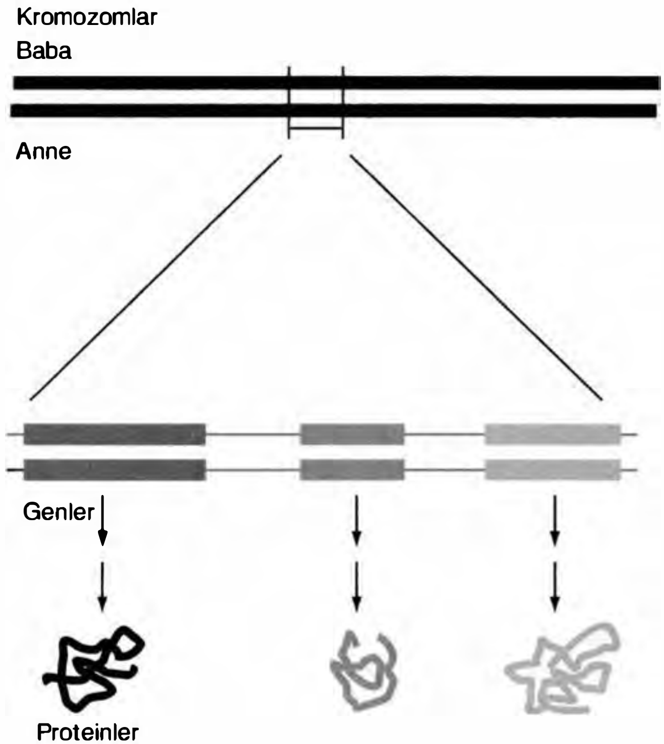
B



Çok farklı canlı türlerinde aynı enzim ya da proteinin üç boyutlu yapıları üzerinde yapılan incelemeler bunların örneğin bakterilerle memeliler gibi evrimsel açıdan birbirlerine çok uzak canlılarda bile, aminoasit dizilişinin büyük oranda değişmiş olmasına karşın, son derece benzer olduklarını gösterir. Bu duruma verilebilecek örneklerden biri, daha önce de bahsetmiş olduğumuz, sineklerin gözlerinde ve memelilerin kulaklarındaki, haberleşmeyle bağlantılı miyosin proteinidir. Bu tür temel benzerlikler sayesinde, maya hücrelerindeki bir özüştürüm kusurunun aynı işlevi taşıyan bir bitki ya da hayvan geni nakledilerek düzeltilmesi mümkün olabilmektedir. Amonyum emiliminde soruna yol açan bir mutasyonun görüldüğü maya hücreleri bir insan geni (ilgili işlevi taşıdığından kuşkulanılan, Rhesus kan grubu proteini RhGA'dan sorumlu gen) nakledilerek "tedavi" edilmiştir. Bu proteinin mayadaki doğal (mutant olmayan) versiyonunda insan RhGA'sındakinden aminoasit açısından pek çok farklılık görülür, ama bu deneyde insan proteini kendi normal versiyonları olmayan maya hücrelerinde çalışabilmektedir. Bu deneyin sonucu ayrıca, aminoasit dizilişleri değişmiş bir proteinin de bazen oldukça iyi çalışabileceğini göstermektedir.

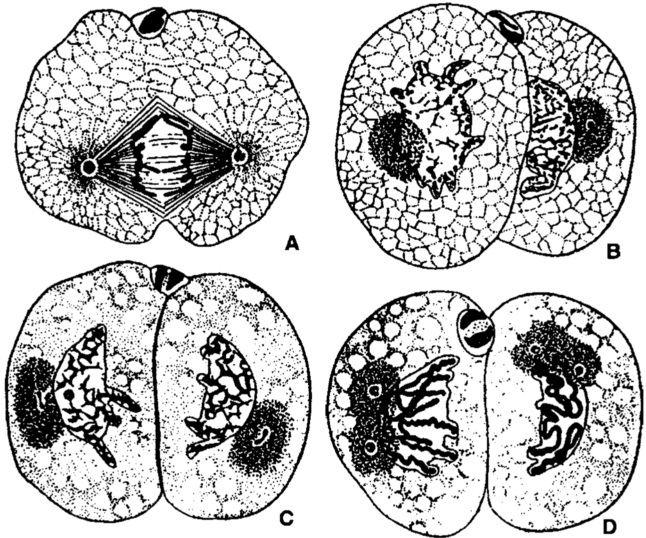
Tüm Organizmalarda Kalıtımın Temeli Aynıdır

Tüm ökaryot organizmalarda (hayvanlar, bitkiler ve mantarlar) kalıtımın fiziksel temeli benzerdir. Kalıtım mekanizması, yani bireylerin pek çok farklı özelliklerinin artık



6. Bir kromozom çiftinin şeması; küçük bir bölgenin şematik çizimi, bu kromozom bölgesindeki üç geni ve aralarındaki kodlama yapmayan DNA'yı gösterecek şekilde büyütülmüştür. Genlerin her birinin ayrı bir proteini kodladığının belirtilmesi amacıyla aç ayrı gen grinin üç farklı tonuyla gösterilmiştir. Gerçek bir hücrede proteinlerin yalnızca bazıları üretilecek, diğer genlerse proteinlerinin oluşmaması için kapatılacaktır.

gen adını verdiğimiz fiziksel varlıklar tarafından kontrol edilmesi konusundaki anlayışımız ilk olarak Gregor Mendel'in bezelye üzerindeki çalışmalarından doğmuştur, ama aynı kalıtım kuralları başka bitkiler ve insanlar da dahil olmak üzere hayvanlar için de geçerlidir. Özüştürüm enzimlerinin ve diğer proteinlerin üretimini kontrol eden (ve böylece bireylerin özelliklerini belirleyen) genler, her hücrenin *kromozomlarında* taşınan DNA kesitleridir (Şekil 6



7. Bir ipliksolucanının bölünen hücresi, artık çekirdek zarı içinde yer almayan kromozomları (A), bölünme sürecindeki çeşitli aşamaları (B, C) ve son olarak, her birinin bir zar içinde yer alan bir çekirdeği bulunan iki yavru hücreyi (D) göstermektedir.

ve 7). Kromozomların organizmanın genlerini çizgisel bir düzenleme içinde taşıdığı ilk kez *Drosophila melanogaster* adlı meyve sineğinde keşfedilmiştir, ama bizim genomumuz için de aynı durum geçerlidir. Kromozomlardaki genlerin sırası evrim sırasında yeniden düzenlenebilir, ama bu tür değişimlere pek sık rastlanmaz ve bu nedenle insan genomunda ve kedilerle köpekler gibi başka memelilerin kromozomlarında aynı gen kümeleri aynı sıra içerisinde bulunabilir. Bir kromozom temelde, yüzlerce ya da binlerce geni kodlayan tek bir çok uzun DNA molekülüdür. Bir kromozomun DNA'sı hücre çekirdeğinin içerisinde düzgün sarmallar içinde paketlenmesine yardım eden protein molekülleriyle birleşir (bilgisayar kablolarının dağılmasını engellemekte kullanılan araçlara benzer bunlar).

Bizim gibi yüksek ökaryotlarda her bir hücrede yumurta çekirdeği yoluyla anneden gelen bir kromozom kümesi ve sperm çekirdeği yoluyla babadan gelen bir başka kromozom kümesi vardır (Şekil 6). İnsanlarda tek bir anne ya da baba kümesinde 23 ayrı kromozom bulunur; genetikte pek çok araştırmada kullanılan *Drosophila melanogaster*'deyse kromozom sayısı beştir (ve bunlardan biri çok küçüktür). Kromozomlar, organizmanın proteinlerinin aminoasit dizilişlerinin ve ayrıca organizmanın hücrelerinin hangi proteinleri üreteceğini belirleyen DNA dizilişlerinin belirlenmesi için gerekli bilgiyi taşırlar.

Gen nedir ve proteinin yapısını nasıl belirler? Gen, *genetik kodun* dört kimyasal "harf"inin (Şekil 5) dizilişinden oluşur; genetik kodda üç bitişik harften oluşan kümeler (*üçlüler*) genin sorumlu olduğu proteindeki aminoasitlerin her birine denk gelir (Şekil 8). Gen dizilişi bir protein zinci-

İnsan	aac	cag	aca	gga	gcc	cgg	tgc	ctg	gag	gtg	tcc	atc	tct	gac	ggg	ctc	ttc	ctc	agc	ctg
Protein	Asn	Glu	Thr	Gly	Ala	Arg	Cys	Leu	Glu	Val	Ser	Ile	Ser	Asp	Gly	Leu	Phe	Leu	Ser	Leu
İnsan	aac	cag	aca	gga	gcc	cgg	tgc	ctg	gag	gtg	tcc	atc	tct	gac	ggg	ctc	ttc	ctc	agc	ctg
Şempanze	aac	cag	aca	gga	gcc	cgg	tgc	ctg	gag	gtg	tcc	atc	CcT	gac	ggg	ctc	ttc	ctc	agc	ctg
													Pro							
Köpek	aac	cag	acC	ggG	Ccc	cgg	tgc	ctg	gag	gtg	tcc	att	CcC	Aac	ggg	ctG	ttc	ctc	agc	ctg
			*	*	Pro								[illegible]	*		*				
Fare	aac	cag	Tca	gAG	CcT	Tgg	tgc	ctg	TaT	gtg	tcc	atc	CcA	gaT	ggC	ctc	ttc	ctc	agc	ctA
			Ser	Glu	Pro	Trp			Tyr				Pro	*	*					*
Domuz	aac	cag	acG	ggC	Ccc	cAg	tgc	ctg	gag	gtg	tcc	atT	CCC	gac	ggg	ctc	ttc	ctc	agc	ctg
					Pro	Gln						*	Pro							

İnsan	ggg	ctg	gtg	agc	ttg	gtg	gag	aac	gcg	ctg	gtg	gtg	gcc	acc	atc	gcc	aag	aac	cgg	aac
Protein	Leu	Gly	Leu	Val	Ser	Leu	Val	Glu	Asn	Ala	Leu	Val	Val	Ala	Thr	Ile	Ala	Lys	Asn	Arg
İnsan	ggg	ctg	gtg	agc	ttg	gtg	gag	aac	gCg	ctg	gtg	gtg	gcc	acc	atc	gcc	aag	aac	cgg	aac
Şempanze	ggg	ctg	gtg	agc	ttg	gtg	gag	aac	ATg	ctg	gtg	gtg	gcc	acc	atc	gcc	aag	aac	cgg	aac
									Met											
Köpek	ggg	ctg	gtg	agc	Gtt	gtg	gaa	aaT	gTg	ctg	gtg	gtg	gcc	Gcc	atT	gcc	aag	aac	cgC	aa
					*			*	Val					*	*				*	
Fare	ggg	ctg	gtg	agt	Ctg	gtg	gag	aaT	gTg	ctg	gtT	gtg	ATA	Gcc	atc	Acc	aaa	aac	cgC	aac
				*	*			*	Val		*		*	*					*	
Domuz	ggg	ctg	gtg	agC	ctC	gtg	gag	aac	gTg	ctg	gtg	gtg	gcc	Gcc	atc	gcc	aag	aac	cgC	aac
									Val					*					*	

8. İnsanlarda ve bazı başka memelilerde, Şekil 4'te gösterilmiş olan melanosit uyarıcı hormon alıcısının geninin bir parçasının DNA ve protein dizilişleri. Şekilde, proteindeki toplam 951 aminoasitten yalnızca 40'ı gösterilmektedir. DNA dizilişleri tepede, üç DNA harfinden oluşan kümeler arasında boşluk bırakılarak gösterilmiştir ve protein dizilişi bunun altındaki gri çizgilerde yer almaktadır (farklı aminoasitler için üç harfli bir kod kullanılmıştır). Diğer türler aşağıda gösterilmiştir. DNA dizilişlerinin insandakinden farklı olduğu yerler büyük harfle belirtilmiştir. İnsan dizilişinden farklı olan, ama insanlardakiyle aynı aminoasiti kodlayan üçlülere yıldız işareti konmuş, insan protein dizilişinden farklılık yaratan üçlülerse karartılmıştır. Pek çok kızıl saçlı insanda 151. üçlüde bir aminoasit varyantı bulunmaktadır.

rinin dizilişine "tercüme" edilir; aminoasit zincirinin sonunu işaretleyen üçlüler de vardır. Gen dizilişinde oluşan bir değişim mutasyona neden olur. Bu tür değişimlerin çoğu oluşumu sırasında proteine farklı bir aminoasidin yerleştirilmesine yol açar (ama 64 olası DNA harfi üçlüsü ve proteinlerde kullanılan yalnızca 20 aminoasit bulunduğundan bazı mutasyonlar protein dizilişini değiştirmez). Tüm canlı organizmalara bakıldığında genetik kodda çok az farklılık görülmektedir ve bu da Yerküre'deki tüm yaşamın ortak bir ataya dayandığına işaret eder. Genetik kod ilk önce bakteri ve virüslerde incelenmiş, ama çok geçmeden kontrol edildiğinde insanlarda da aynı olduğu görülmüştür. Bu kodun insanlarda alyuvar hücresi proteini hemoglobinin dizilişinde yaratabileceği olası mutasyonların neredeyse tümü gözlenmiştir, ama bu kodla oluşması mümkün olmayan mutasyonlara rastlanmaz.

Protein ürününün üretilmesi için bir genin DNA dizisi önce, bağlantılı bir molekülden ("harf" dizilişi gendeki dizilişten kopyalayıcı bir enzim tarafından kopyalanan *RNA*) oluşan bir "mesaj"a kopyalanır. Mesajın tercüme edilmesi ve genin belirlediği proteinin üretilmesi için RNA mesajı protein kümelerinden ve başka RNA moleküllerinden oluşan ayrıntılı bir hücre mekanizmasıyla etkileşime girer. Bu süreç tüm hücrelerde temelde aynıdır, ama ökaryotlarda sitoplazmada gerçekleşir ve mesaj ilk önce, çekirdekten tercüme mekanizmasının bulunduğu hücre bölgelerine geçmelidir. Kromozomlardaki genlerin aralarında, protein kodlaması yapmayan DNA kesitleri bulunmaktadır; *kodlama yapmayan* DNA'nın bir kısmının, genlerin RNA mesajlarının üretimini açıp kapayan proteinlerin

bağlanması için bir yer olma işlevi bulunmaktadır. Örneğin hemoglobinden sorumlu genler alyuvar hücrelerine dönüşen hücrelerde açılırken beyin hücrelerinde kapatılır.

Tekhücreli organizmalardan son derece farklılaşmış dokuları bulunan, milyarlarca hücreden oluşmuş canlılara dek farklı organizmaların yaşam tarzları arasında çok büyük farklar bulunmasına karşın, ökaryot hücreleri benzer hücre bölünmesi süreçlerinden geçer. Amip ya da maya gibi tek hücreli organizmalar iki yavru hücreye bölünerek üreyebilir. Çokhücreli bir organizmanın bir yumurtayla spermin birleşmesi sonucunda oluşan döllenmiş yumurtası da iki yavru hücreye bölünür (Şekil 7). Bundan sonra gerçekleşen çok sayıda hücre bölünmesi sonucunda yetişkin bir organizmanın bedenini oluşturan pek çok hücre ve doku tipi üretilir. Memelilerde yetişkinlerin bedenlerinde 300'den fazla farklı hücre tipi bulunmaktadır. Her tipin kendine özgü bir yapısı vardır ve belli proteinleri üretir. Embriyo gelişimi sırasında bu hücrelerin doku ve organlar halinde düzenlenebilmesi için, gelişmekte olan embriyonun hücreleri arasında titizlikle kontrol edilen etkileşim ağları bulunması gerekmektedir. Doğru yerde ve doğru zamanda doğru hücre tipinin üretilmesi için genlerin açılıp kapanması gerekir. *Drosophila melanogaster* gibi iyi incelenmiş bazı organizmalar söz konusu olduğunda bu etkileşimlerin, farklılaşmamış görünen yumurta hücresinden sineğin karmaşık beden planının oluşmasıyla nasıl sonuçlandığı konusunda çok şey biliyoruz. Örneğin sinir gibi belli dokuların gelişimiyle ve farklılaşmasıyla ilgili pek çok haberleşme sürecinin tüm çokhücreli hayvanlarda ortak olduğu görülmektedir; kara bitkilerindeyse, çokhücreli hayvanlarla bitkilerin evrimsel köken-

lerinin ayrı olduğunu gösteren fosil kayıtlarının da düşündüreceği gibi, oldukça farklı süreçler görülür (bkz 4. Bölüm).

Bir hücre bölündüğünde kromozomların DNA'sı kopyalanır ve böylece her kromozomdan iki kopya oluşur. Hücre bölünmesi, yeni kopyalanan DNA dizisinin hataların saptanması için bir "düzelti"den geçmesini güvence altına alan sıkı kontrollerin bulunduğu bir süreçtir. Hücrelerde DNA'nın kopyalanma biçiminin belli özelliklerini kullanarak yeni DNA'yı eski "şablon" DNA'dan ayırt edebilen enzimler bulunmaktadır. Bu da kopyalanma sırasında oluşan hataların çoğunun saptanıp düzeltilmesini sağlayarak bir sonraki adıma, yani hücre bölünmesine geçilmesinden önce şablonun sadakatle kopyalanmasını sağlar. Hücre bölünmesi mekanizması her yavru hücrenin ebeveyn hücredeki kromozom kümesinin eksiksiz bir kopyasını almasını sağlar (Şekil 7).

Pek çok virüs de dahil olmak üzere prokaryotların genlerinin çoğu da, ökaryot kromozomlarında taşınanlardan yalnızca biraz farklı düzenlenmiş DNA dizileridir. Pek çok bakteride genetik madde olarak tek bir dairesel DNA molekülü vardır. Ama örneğin grip ve AIDS'ten sorumlu virüsler gibi bazı virüslerde genler RNA'dan yapılmıştır. DNA kopyalaması sırasında gerçekleştirilen düzelti RNA kopyalandığında yapılmaz; bu nedenle bu virüslerde mutasyon oranı aşırı derecede yüksektir ve konağın bedeninde çok hızlı evrimleşebilirler. Dolayısıyla, 5. Bölüm'de de açıklayacağımız gibi, bunlara karşı aşı geliştirilmesi çok zordur.

Kodlama yapmayan DNA miktarı açısından ökaryotlarla prokaryotlar arasında büyük fark görülür. *Escherichia*

coli adlı (bağırsaklarımızda yaşayan ve normalde zararsız bir tür olan) bakteride yaklaşık 4,300 gen vardır ve protein dizisi için kodlama yapan kesitler bu türün DNA'sının yaklaşık % 86'sını oluşturur. Oysa insan genomunda DNA'nın % 2'den azı protein dizilişini kodlar. Diğer organizmalar bu iki ucun arasında bir yerlerdedir. *Drosophila melanogaster* adlı meyve sineğindeyaklaşık 120 milyon DNA "harf"iyle yaklaşık 14,000 gen vardır ve DNA'nın yaklaşık % 20'si kodlama dizilerinden oluşur. İnsan genomundaki farklı genlerin sayısı hâlâ tam olarak bilinemememektedir. Şu andaki en iyi sayım, tüm genom için yapılan dizi analizine dayanmaktadır. Bu da genetikçilerin daha önceden incelenmiş olan genlerden edindiğimiz bilgilere dayanarak muhtemelen gen olan dizileri saptamalarını sağlamaktadır. Herhangi bir türün genomunu, özellikle de DNA içeriği çok yüksek olan (meyve sineğinin 25 katı) bizim genomumuzu oluşturan çok yüksek miktarda DNA'da bu dizileri bulmak çok zor bir iştir. İnsanda gen sayısı 35,000 civarındadır ve daha önceden farklı işlevlere sahip hücre ve doku tipi sayısına bakılarak yapılan tahminin çok altındadır bu sayı. Bu sayma yöntemi çok küçük genleri ya da alışılmadık türde olanları (örneğin pek çok organizmada olan, başka genlerin içinde bulunan genler) saptayamadığından, bir insanın üretebileceği protein sayısının bundan çok daha fazla olması muhtemeldir. Kodlama yapmayan DNA'nın ne kadarının organizmanın yaşamı açısından önem taşıdığı henüz bilinemememektedir. Büyük bölümünün virüslerden ve kromozomlarda yaşayan diğer asalaklardan oluşmasına karşın bazılarının önemli işlevleri bulunmaktadır. Daha önce de belirtmiş olduğumuz gibi, genlerin dışında, bir hüc-

rede hangi genlerin "açılacağını" kontrol eden proteinleri bağlayabilen DNA dizileri bulunmaktadır. Gen faaliyetinin kontrolü çokhücreli canlılarda bakterilere kıyasla çok daha önemli olsa gerek.

Modern biyoloji, çok farklı organizmalarda genetik maddenin DNA olduğunun keşfedilmesine ek olarak, ökaryotların yaşam çevrimlerinde, maya gibi tekhücreli mantarlardan yıllık bitkilere ve hayvanlara, bizim ve pek çok ağaç türü gibi (ölümsüz olmasa da) uzun ömürlü canlılara dek büyük bir çeşitlilik içermelerine rağmen, derin benzerlikler bulmuştur. Ökaryotların tümünde olmasa bile pek çoğunda her kuşakta bir eşeyli aşama vardır ve birleşen yumurtayla spermin (her biri söz konusu türün özelliğine göre *n* sayıda farklı kromozomdan oluşan) anne ve baba genomları birleşerek 2*n* sayıda kromozomlu bir birey oluştururlar. Bir hayvan yeni bir yumurta ya da sperm ürettiğinde özel bir tür hücre bölünmesiyle *n* şartı karşılanır. Her anne ve baba kromozomu çifti sıralanır ve (kısmen baba ve kısmen anne DNA'sından oluşan kromozomları oluşturmak için madde değiş tokuşunda bulunduktan sonra) kromozom çiftleri diğer hücre bölünmelerinde yeni kopyalanmış kromozomların ayrılmasına benzer bir şekilde birbirlerinden ayrılırlar. Bu sürecin sonunda her yumurta ya da sperm hücresi çekirdeğindeki kromozom sayısı yarıya inmiş olur, ama her yumurta ya da spermde organizmanın genlerinin eksiksiz bir kümesi olur. Döllenme sırasında yumurta ve sperm çekirdekleri birleştiğinde ikili küme yeniden oluşur.

Eşeyli üremenin temel özellikleri, evrim sahnesine geç girmiş oyuncular olan çokhücreli hayvan ve bitkilerin evriminden çok önce gelişmiş olsa gerek. Eşeyli tekhücreli ve

çokhücreli organizmaların üremelerinde görülen ortak özellikler ve maya ve memeliler gibi birbirlerinden uzak gruplarda hücre bölünmesinin ve kromozom davranışının kontrolüyle bağlantılı olduğu keşfedilmiş olan benzer genlere ve proteinlere rastlanması bunu gösteriyor. Çoğu tekhücreli ökaryotta her biri *n* kromozomlu bir çift hücrenin birleşmesiyle üretilen 2*n*'li hücre, tıpkı çokhücreli hayvanlarda mikrop hücresi üretimi konusunda yukarıda anlatıldığı gibi hemen bölünerek *n* kromozomlu hücreleri üretir. Bitkilerde kromozom sayısının 2*n*'den *n*'e inmesi yumurta ve sperm oluşumundan önce gerçekleşir, ama yine aynı türde bir özel hücre bölünmesi görülür; örneğin yosunlarda kromozom sayısının *n* olduğu ve yosun bitkisinin oluştuğu uzun biryaşam çevrimi aşaması görülür; yumurtayla spermin oluşmasından ve döllenmenin gerçekleşmesinden sonra 2*n*'li asalak aşaması gelişir.

Bazı çokhücreli organizmalarda eşeyli üreme süreçlerindeki bu karmaşa görülmez. Bu tür "eşeysiz" türler yumurta üretimi sırasında kromozom sayısı 2*n*'in altına düşmeden yavru üretirler. Yine de tüm çokhücreli eşeysiz organizmalarda eşeyli atalardan türediklerini gösteren açık işaretlere rastlanır. Örneğin bayağı karahindiba eşeysizdir; çoğu bitkinin aksine, polenin çiçeklere getirilmesine gerek kalmadan tohum oluşur. Çimenliği olan herkesin görebileceği gibi hızla ve çok sayıda tohum üreten bayağı karahindiba gibi yabani bir tür için bu bir avantajdır. Diğer karahindiba türleri bireyler arasında normal eşleşme yoluyla ürerler ve bayağı karahindibalar bunlarla o kadar yakın akrabadırlar ki, eşeyli türlerin çiçeklerini dölleyebilen polenler üretebilmektedirler.

Hücre bölünmesi sırasında DNA kopyalanırken oluşan hataların giderildiği düzelti mekanizmalarına rağmen hatalar olabilir ve bu hatalar mutasyona neden olur. Mutasyon bir proteinin aminoasit dizilişinde bir değişime yol açtığında protein bozulabilir; örneğin doğru şekilde katlanamayabilir ve bu nedenle işini gerektiği gibi yapamayabilir. Şayet bir enzim söz konusuysa, daha önceden söz etmiş olduğumuz albino mutasyonlarında görüldüğü gibi, ait olduğu özüştürüm yolunun yavaş işlemesine ya da hiç işlememesine yol açabilir.

Yapı proteinlerinde ya da haberci proteinlerde oluşan mutasyonlar hücre fonksiyonlarına ya da organizmanın gelişimine zarar verebilir. İnsanlarda görülen pek çok hastalığın nedeni bu tür mutasyonlardır. Örneğin, hücre bölünmesinin kontrolüyle ilgili genlerdeki mutasyonlar kanser gelişimi riskini artırabilir. Daha önce de belirtmiş olduğumuz gibi, hücrelerde, yalnızca her şey yolunda olduğunda (mutasyon düzeltisi eksiksiz olmalıdır, hücrede hiçbir enfeksiyon ya da başka bir hasar işareti bulunmamalıdır vb) bölünmelerini güvenceye alan çok hassas kontrol sistemleri bulunmaktadır.

Bu kontrol sistemlerini etkileyen mutasyonlar kontrolsüz hücre bölünmesine ve hücre soyunda habis büyümeye neden olabilirler. Neyse ki bir çift gen söz konusu olduğunda her iki genin de mutasyona uğramış olması alışılmadık bir durumdur ve gen çiftindeki mutant olmayan gen genellikle, hücre fonksiyonlarının doğru şekilde sürmesi için yeterli olur. Ayrıca, bir hücre soyunun kansere dönüşmesi

için genellikle başka uyarlanmalara da gerek vardır ve bu nedenle habis büyüme yaygın değildir. (Tümörler için bir kan akışına gerek vardır ve hücrenin anormal özelliklerinin beden tarafından saptanmaktan kurtulabilmesi gerekir.) Yine de hücre bölünmesinin ve bu bölünmenin kontrolünün anlaşılması kanser araştırmalarının başlıca amaçlarından biridir. Birbirlerinden farklı ökaryot organizmaların hücrelerinde bu süreç öylesine benzerdir ki, 2001 yılında tıp alanında Nobel ödülleri mayalardaki hücre bölünmesiyle ilgili, maya hücrelerinin kontrol sistemiyle bağlantılı bir genin bazı kalıtımsal insan kanserlerinde mutasyona uğradığını gösteren bir araştırmaya verilmiştir.

Hastalığa yol açan çoğu mutasyon gibi, kansere eğilimli olunmasına yol açan mutasyonlara da ender rastlanır. Kuzey Avrupa insan popülasyonlarında görülen en yaygın genetik bozukluk kistik fibrozdur, ama bu durumda bile ilgili genin mutant olmayan dizilişi genin popülasyon içerisindeki kopyalarının % 98'inden fazlasını temsil eder. Önemli bir enzim ya da proteinde bozulmaya yol açan mutasyonlar etkilenen bireylerin hayatta kalma ya da üreme düzeylerini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, enzimde işlev bozukluğuna yol açan gen dizilişi bir sonraki kuşakta daha az görülür ve sonunda yok olur. Doğal seçilimin başlıca rollerinden biri, çoğu bireyin proteinlerinin ve diğer enzimlerinin iyi çalışmasını sağlamaktır. Bu konuya 5. Bölüm'de döneceğiz.

Önemli tipte bir mutasyon, bir proteinin geni tarafından yeterli miktarlarda üretilememesine yol açar. Bu durumun nedeni bu genin normal kontrol sistemindeki bir so-

run olabilir; ya geni açması gerektiği zamanda açmaz, ya doğru miktarlarda üretim yapmaz ya da protein üretimi sürecini tamamlanmadan durdurur. Bazı mutasyonlarsa bir enzimin üretimini engellemeyebilir, ama tıpkı gerekli araç ya da makineler bir şekilde bozuk olduğunda üretim hattında sorun yaşanması gibi, üretilen enzim kusurlu olabilir. İçerdiği aminoasitlerden biri ya da daha fazlası eksikse protein doğru şekilde işlemeyebilir; zincirde belli bir konumda farklı bir aminoasitin belirmesi durumunda da, geriye kalanların tümü doğru olsa bile, aynı sorun oluşabilir. İşlev kaybına yol açan mutasyonlar, seçilim süreci artık bunları ortadan kaldırmadığında, evrime katkıda bulunabilirler (seçilim açısından nötr mutasyonların nasıl yayıldıkları konusu için bkz 2. ve 6. Bölümler). İnsanlarda koku alıcısı genlerinin yaklaşık % 65'i çalışan alıcı proteinler üretmeyen "körelmiş genler"dir ve bu nedenle farelere ya da köpeklere kıyasla koku fonksiyonlarımız çok daha azdır (kokunun günlük yaşamlarındaki ve sosyal etkileşimlerindeki öneminin bize kıyasla ne kadar fazla olduğu düşünüldüğünde hiç de şaşırtıcı değil bu).

Bir türdeki normal bireyler arasında da pek çok farklılık görülür. Örneğin, insan popülasyonlarındaki bireyler arasında belli kimyasal maddelerin tadını ya da kokusunu alma veya anestezik olarak kullanılan bazı kimyasal maddeleri parçalama yetileri açısından farklılık görülür. Bir anesteziği parçalayan bir enzimin bulunmadığı kişilerde buna karşı kötü bir tepki görülebilir, ama diğer durumlarda bu enzimin eksikliği bir sorun yaratmaz. Başka ilaçlarla ve kimi zaman yiyeceklerle başa çıkma yetisindeki benzer farklılıklar insanlardaki çeşitliliğin önemli yönlerinden biridir ve sık

sık güçlü ilaçların kullanıldığı modern tıpta bu farklılıkların bilinmesi gerekmektedir.

Glikoz-6-fosfat dehidrogenaz adlı enzimdeki (hücrelerin glikozdan enerji elde ettikleri özüştürüm yolunun ilk aşamalarında kullanılan bir enzim) mutasyonlar bu tip bazı farklılıklara örnek olarak gösterilebilir. Bu genin bulunmadığı bireyler (kullanıldığı özüştürüm yolu hücre enerjisi üretiminin yan ürünü olarak üretilen toksit kimyasal maddelerin düzeyinin kontrolünde hayati önem taşıdığı için) hayatta kalamazlar. Sağlıklı bir yaşamla uyumlu olmakla kalmayıp sıtma asalaklarına karşı koruyucu olan bu proteinin insan popülasyonlarında en az 34 farklı normal varyantı bulunmaktadır. Bunların her biri proteinin en yaygın normal dizilişinden bir ya da birkaç aminoasitle ayrılır. Bu varyantların bazıları Afrika ve Akdeniz bölgelerinde yaygındır ve kimi sıtmalı popülasyonlarda varyant bireylere sık rastlanır. Ama belli bir tür fasulye yendiğinde ya da bazı sıtma ilaçları verildiğinde varyantlardan bazıları bir tür anemiye neden olur. Gayet iyi bilinen ABO ve başka kan grupları insan popülasyonları içerisindeki normal değişkenliğin bir başka örneğidir; bu varyasyonun nedeni alyuvar hücrelerinin yüzeylerinin ayrıntılarını kontrol eden proteinlerin dizilişlerindeki varyasyondur.

Deri pigmenti melaninin üretiminde önem taşıyan melanosit uyarıcı hormonun alıcı proteinindeki varyasyon (bkz Şekil 4) saç renginde farklılıklara yol açabilir; pek çok kızıl saçlı insanda bu proteinin aminoasit dizilişinin değişik olduğu görülür. 5. Bölüm'de de tartışacağımız gibi, genetik çeşitlilik doğal seçilimin evrimsel değişimleri üretirken kullandığı temel hammaddedir.

Biyolojik Sınıflandırma ve DNA ve Protein Dizilişleri

Organizmaların evrim yoluyla birbirlerine akraba olduklarını kanıtlayan yeni ve önemli bir veridizisi, DNA'larındaki, kimyasal DNA dizi analizi yöntemiyle artık "okunabilen" harflere dayanmaktadır. Gözle görülebilen özelliklere dayalı, son üç yüzyıl boyunca bitkiler ve hayvanlar üzerinde yapılan incelemeler temel alınarak geliştirilmiş biyolojik sınıflandırma sistemleri, farklı türlerin DNA ve protein dizilişlerinin karşılaştırıldığı yakın tarihli çalışmalarca da desteklenmektedir. DNA dizilişleri arasındaki benzerliklerin ölçülmesi, türler arasındaki akrabalık konusunda nesnel bir anlayış geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu konuyu 6. Bölüm'de daha ayrıntılı olarak anlatacağız. Şu an için, yakın akraba türlerde belli bir genin DNA dizilişlerinin birbirlerine daha çok benzeyeceğini, daha uzak akraba türlerdeyse daha farklı olacağını bilmek yeterli olacaktır (Şekil 8). Farklılık miktarı, karşılaştırılan iki dizilişi birbirlerinden ayıran zamanla yaklaşık olarak orantılı olarak artar. Moleküler evrimin bu özelliği evrim biyologlarının fosillerde incelenemeyen olayların zamanlamalarını bir *moleküler saat* kullanarak tahmin edebilmelerini sağlamaktadır. Örneğin, bir organizmanın genlerinin kromozomları üzerindeki sıralamasındaki değişimlerden bahsetmiştik. Kromozomlardaki bu tür yeniden sıralanışların hızını bir moleküler saat kullanarak tahmin edebiliriz. Evrim görüşüyle tutarlı olarak, insan ve al yanaklı şebek gibi yakın akraba olduğuna inandığımız türlerde kromozomların yeniden sıralanışlarındaki farklılıklar, insanla yünlü

maymun gibi Yeni Dünya primatları arasında yapılacak bir karşılaştırmaya kıyasla daha azdır.

Bir sonraki bölümde evrimin fosil kayıtlarına ve canlı türlerin coğrafi dağılımlarıyla ilgili verilere dayalı kanıtlarını açıklayacağız. Evrim kuramının çok çeşitli biyolojik olgu için doğal bir açıklama getirdiğinin gösterilmesinde bu gözlemler, burada tanımlanan gözlemleri tamamlamaktadır.

IV. Bölüm

EVRİMİN KANITLARI: ZAMANSAL VE COĞRAFİ MODELLER

İnsanın tarihi zaman okyanusundaki küçük
bir dalgacıktan başka bir şey değildir öyleyse.

Doğal Kuvvetlerin Etkileşimi,
Herman von Helmholtz, 1854

Yerküre'nin Yaşı

18. yüzyıl sonlarının ve 19. yüzyıl başlarının yerbilimcilerinin Yerküre'nin günümüzdeki yapısının uzun süreli fiziksel süreçlerin ürünü olduğunu saptamakta gösterdikleri başarı olmasa, canlı organizmalarının kökeninin evrime dayandığının farkına varılması mümkün olmazdı. Bu alanda kullanılan yöntemler ilke olarak, tarihçilerle arkeologların kullandıkları yöntemlere benzemektedir. Büyük Fransız doğabilimci Comte de Buffon'un 1774'te yazdığı gibi:

Uygarlık tarihinde insan devrimlerinin çağlarını saptamak ve ahlaki olayların tarihlerini belirlemek için belgelere başvurmamız, madalyonları incelememiz ve antik yazıtları çözmemiz gibi, doğa tarihinde de dünyanın arşivlerinin kazılması, yerkürenin derinliklerinden antik kalıntıların çıkarılması, bu kalıntıların parçalarının toplanıp bizi Doğa'nın farklı Çağlarına götürebilecek tüm fiziksel değişim işaretlerinin tek bir kanıtlar bütünü içerisinde yeniden bir araya getirilmesi gerekir. Uzamın sınırsızlığı içerisinde belli noktaları belirlemenin ve zamanın ebedi yolu üzerine dönüm taşları yerleştirmenin tek yolu budur.

Aşırı basitleştirme riskini göze alırsak, erken dönem yerbilimin kazandığı başarıların ardında iki temel içgörünün bulunduğunu söyleyebiliriz: *birörneklik* ilkesi ve tarihlendirme yöntemi olarak stratigrafinin (katmanbilim) icat edilişi. Birörneklik on sekizinci yüzyıl sonlarının Edinburglu yerbilimcisi James Hutton'la ilişkilendirilir ve sonradan yine İskoçyalı bir bilim adamı olan Charles Lylell tarafından *Yerbiliminin İlkeleri*'nde (1830) sistemleştirilmiştir. Gökbilimcilerin uzak gezegen ve yıldızların oluşumunu anlama çabalarında kullandıkları ilkenin Yerküre'nin yapısının tarihine uygulanmasından ibarettir bu ilke: ilgili temel fiziksel süreçlerin her yerde ve her zaman aynı olduğu varsayılır. Zamanla görülen jeolojik değişim, değişmez fizik kurallarının işleyişinin bir sonucudur. Örneğin, fizik kuramına göre, Güneş'le Ay'ın kütleçekimi kuvvetlerinin yarattığı gelgitlere dayalı sürtünme kuvvetleri nedeniyle Yerküre'nin dönüş hızı milyonlarca yıl içerisinde düşmüş olmalıdır. Şu anda bir günün süresi Yerküre'nin

ilk oluştuğu zamana kıyasla çok daha uzundur, oysa kütleçekimi kuvvetinin gücü değişmemiştir.

Ama günlük yaşamımızın en temel yönlerinin altında yatan doğanın düzenliliği varsayımı için mantıklı bir gerekçe olmadığı gibi, birörneklik varsayımı için de bağımsız bir gerekçe bulunmamaktadır. Hatta, iki varsayım arasında, uygulandıkları zaman ve coğrafya boyutu hariç, hiçbir ayrım yoktur. Gerekçeleri, öncelikle, birörnekliğin zamansal ve coğrafi olarak bizden uzak olayları yorumlamakta dayanabileceğimiz olası en basit temeli temsil etmesidir. İkinci olarak, son derece başarılı olduğu görülmüştür.

Yerbilimdeki birörneklik varsayımına göre Yerküre'nin yüzeyinin günümüzdeki yapısı, volkan faaliyetlerinin ve nehir, göl ve denizlerdeki tortu birikiminin sonucunda gerçekleşen yeni kayaç oluşumlarının ve rüzgâr, su ve buzun etkileri sonucunda eski kayaçların aşınmasının birikmiş etkisinin sonucudur. Kumtaşı ve kireçtaşı gibi *tortul* kayaçların oluşumu başka kayaçların aşınmasına dayanır. Volkanik faaliyetler ve depremler nedeniyle yer yüzeyinin yukarı doğru kalkması sonucunda dağların oluşmasıysa aksine, aşınma yoluyla parçalanmalarından önce gerçekleşmelidir. Günümüzde de gözlenebilecek süreçlerdir bunlar; özellikle de donma ve buzların çözülmesi olaylarının görüldüğü bir mevsimde dağlık bir bölgeye giden herkes kayaların aşınmasına ve sonuçta oluşan döküntünün akarsular ve nehirler yoluyla taşınmasına tanık olacaktır. Nehir ağızlarındaki tortu birikiminin gözlenmesi de kolaydır. Volkanik faaliyetler ve depremler artık gayet iyi bilinen nedenlerden ötürü dünyanın belli bölgeleriyle, özellikle de kıta kenarlarıyla ve okyanus ortalarıyla kısıtlı kalmaktadır, ama vol-

kan faaliyetleri sonucunda yeni okyanus adalarının oluşumuna ve depremler sonucunda toprağın yukarı kalkmasına dair pek çok kayıtlı örnek bulunmaktadır. Şubat 1835'te Şili'de yaşanan depremin etkilerini Darwin *Beagle'ın Yolculuğu'nda* şöyle anlatır:

> Bu depremin en önemli etkisi yüzeyin kalıcı bir şekilde yükselmesiydi; bundan bir neden olarak söz etmek belki de daha doğru olacaktır. Concepcion Körfezi civanndaki toprağın altmış ya da doksan santimetre yükselmiş olduğundan hiçbir kuşku bulunmamaktadır... (Yaklaşık otuz mil uzaklıktaki) S. Maria adasında yükselme daha da fazlaydı; bir noktada Kaptan Fitzroy, yüksek su işaretinin üç metre yukarısında, hâlâ kayalara yapışık halde çürümüş midye kabuğu yatakları buldu... Bu bölgedeki yükselme başka pek çok şiddetli depreme sahne olması nedeniyle ve kara yüzeyi üzerine kesinlikle 180 ve inanıyorum ki 300 metre yüksekliklere dek dağılmış olan çok sayıda deniz kabuğu nedeniyle özellikle ilgi çekicidir.

Yerküre'nin yüzeyin üzerindeki ya da yakınlarındaki yapısının bu süreçler temelinde yorumlanmasında ve Yerküre'nin pek çok yerinin bugünkü görünümünü oluşturan olayların yeniden kurulmasında yerbilim çok başarılı olmuştur. Bu olayların sıralaması stratigrafi ilkesine başvurularak belirlenebilir. Farklı kayaç katmanlarında (*strata*) bulunan fosil dizileri ve mineral bileşimiyle ilgili bilgiler bireysel olarak katmanların tanımlanmasında kullanılır. Fosillerin mineral oluşumunun ürünleri değil, çok uzun zaman önce ölmüş bitki ve hayvanların kalıntıları oldu-

ğunun anlaşılması stratigrafinin başarısında temel rol oynamıştır. Belli bir tortul kayaç katmanında bulunan fosil tipleri, bu şekilde depolanmalarından önce hâkim olan ortam hakkında kanıt sunar; örneğin, organizmaların deniz, tatlı su ya da kara organizmaları olduğunun anlaşılması genellikle mümkündür. Yerküre kabuğunun altındaki ergimiş maddelerin katılaşması sonucunda oluşan granit ya da bazalt gibi kayalardaysa fosile elbette rastlanılmamaktadır.

İngiliz kanal mühendisi William Smith 19. yüzyıl başlarında kanal inşa etmek amacıyla İngiltere'yi dolaşırken, (böylesine küçük bir kara parçası için farklı çağlara ait alışılmadık bir kayaç çeşitliliği bulunan) ülkenin farklı yerlerinde benzer katman dizileri görüldüğünü fark etti. Eski kayaçların normalde daha yeni kayaçların altında yer alacağı ilkesi uygulandığında, farklı yerlerdeki katman ardıllığının karşılaştırılması yerbilimcilerin çok uzun süreler içerisinde oluşmuş katman dizilerini yeniden kurabilmelerini sağlamıştır. Bir yerde A tipi kayalar B tipi kayaların altında bulunuyorsa ve başka bir yerde B, C'nin altında görülüyorsa, A ve C asla aynı yerde bulunmasalar bile A-B-C dizisine çıkarım yoluyla ulaşılabilir.

19. yüzyıl yerbilimcileri bu yöntemi sistemli olarak kullanarak başlıca jeolojik zaman bölümlerini saptayabildiler (Şekil 9). Bunlardan mutlak değil, göreceli bir kronolojiye ulaşılabiliyor; mutlak tarihlere ulaşmak için ilgili sürecin hızının saptanmasını sağlayacak yöntemler gerekiyor ve bunun herhangi bir kesinlikle yapılması çok güç. Yeryüzü manzarasının oluşumuyla bağlantılı süreçler son derece yavaş süreçlerdir; birkaç milimetrelik kayaç aşınması bile yıllar alır ve tortu birikimi de aynı derecede yavaştır. Aynı

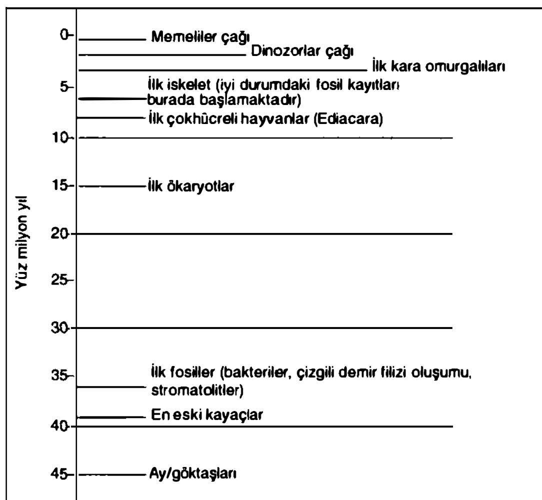
şekilde, örneğin Andlar gibi en aktif dağ oluşumu alanlarında bile yüzey yükselmesi ortalama olarak yılda bir metrenin küçük bir parçası gibi bir hızla gerçekleşir. Dünyanın pek çok yerinde aynı oluşuma sahip kilometrelerce derinlikte tortul kayaçlar bulunduğuna ve aynı derecede geniş birikintilerin aşınmış olduğuna dair kanıtlar göz önüne alındığında, Yerküre'nin en azından on milyonlarca yıldır var olduğu çabucak anlaşıldı ve bu durum Kitabı Mukaddes kronolojisiyle çelişiyordu. Lyell bu temele dayanarak Tersiyer (Üçüncü) dönemin yaklaşık 80 milyon yıl sürdüğünü ve Kambriyen dönemin 240 milyon yıl önce olduğunu öne sürdü.

Ünlü fizikçi Lord Kelvin, Yerküre'nin yaklaşık olarak 100 milyon yıldan uzun bir süre önce oluşmuş olması durumunda ergimiş haldeki Yerküre'nin soğuma hızı karşısında Yerküre çekirdeğinin aslında olduğundan çok daha soğuk olacağı gerekçesiyle bu uzun zaman çerçevesine karşı çıktı. Kelvin'in hesaplaması döneminin fiziğine göre doğruydu. Ama 19. yüzyıl sonunda uranyum gibi kararsız elementlerin daha kararlı türevlere radyoaktif olarak bozundukları keşfedildi. Bu bozunma sürecine, Yerküre'nin soğuma hızını yaşına dair mevcut tahminlerle uyuşan bir oranda yavaşlatmaya yetecek bir enerji boşaltımı eşlik etmektedir.

Radyoaktivite de kayaç örneklerinin yaşlarının belirlenmesinde yeni ve güvenilir yöntemler sundu. Radyoaktif

9. Başlıca jeolojik zaman bölümleri. Üst kısımda, çoğu fosilin bulunmuş olduğu Kambriyen'den itibaren, ad verilmiş bölümler gösterilmiştir (Yerküre'nin oluşumundan bu yana geçen zamanın sekizde birinden az bir bölüm). Alt kısımdaysa Yerküre tarihi boyunca gerçekleşmiş başlıca olaylar gösterilmiştir.

Zaman	Dönem	Bölüm	yıl önce
	Kuvatemer	Holosen	10.000
		Pleyistosen	2 milyon
Senozoyik	Tersiyer	Pliyosen	7 milyon
		Miyosen	26 milyon
		Oligosen	38 milyon
		Eosen	54 milyon
		Paleosen	64 milyon
Mezozoyik	Kretase		136 milyon
	Jura		190 milyon
	Triyas		225 milyon
Paleozoyik	Permiyen		280 milyon
	Karbonifer		345 milyon
	Devoniyen		410 milyon
	Silüriyen		440 milyon
	Ordovisiyen		530 milyon
	Kambriyen		570 milyon



elementlerin atomlarının bir yılda radyasyon emisyonuyla birlikte daha istikrarlı bir yavru elemente bozunması olasılığı sabittir. Bir kayaç oluştuğunda söz konusu elementin saf olduğu varsayılabilir; dolayısıyla, örnekteki yavru elementin oranı ölçüldüğünde, deneylerle saptanmış bozunma süreci hızı bilindiğinden, kayacın oluşumundan bu yana geçen süre tahmin edilebilir. Farklı çağlardan kayaların tarihlendirilmesinde farklı elementler kullanılır. Çeşitli jeolojik dönemlere ait kayaçların yaşlarının bu teknikle belirlenmesi sayesinde günümüzde kabul edilen tarihlere ulaşılmıştır. Yöntemler sürekli geliştirilmekte ve tarihler güncellenmektedir, ama işaret ettikleri genel zaman çerçevesi gayet açıktır (Şekil 9). Bu zaman çerçevesi, biyolojik evrimin gerçekleşebileceği çok uzun, neredeyse akla sığmaz bir süre olduğunu göstermektedir.

Fosil Kayıtları

Yaşamın tarihi konusunda yegâne dolaysız bilgi kaynağımız fosil kayıtlarıdır. Bu kayıtları doğru olarak yorumlayabilmemiz için fosillerin nasıl oluştuğunu ve bilim adamlarının bunları nasıl incelediklerini anlamamız gerekmektedir. Bir bitki, hayvan ya da mikrop öldüğünde yumuşak kısımların hızla bozulacağı neredeyse kesindir. Bozulmadan sorumlu mikroplar yalnızca bir çölün kurak havası ya da bir kehribar parçasının koruyucu kimyasal maddeleri gibi alışılmadık ortamlarda yumuşak parçaları parçalayamazlar. Kehribara sıkışıp kalmış böcek örnekleri söz konusu olduğunda on milyonlarca yıl öncesine dek inebilen, yumuşak

parçaların korunduğu olağanüstü örnekler bulunmaktadır, ama bunlar kuraldan çok istisnadır. Böceklerle örümceklerin bedenlerini kaplayan sert kitin ya da omurgalıların diş ve kemikleri gibi iskelet yapıları bile zamanla bozulur. Ama bunların yok olma hızlarının daha yavaş olması içlerine minerallerin sızmasına ve zamanla asıl malzemenin yerini mineralleşmiş bir kopyanın almasına olanak tanır (kimi zaman bu durum yumuşak parçalarda da görülür). Ya da, çevrelerinde minerallerin birikmesiyle birlikte şekillerinin bir kalıbı oluşabilir.

Denizlerin, göllerin ve nehir haliçlerinin diplerinde tortu birikiminin ve mineral çökeltisinin oluştuğu su ortamlarında fosilleşmenin gerçekleşmesi olasılığı daha yüksektir. Dibe çöken kalıntılar fosile dönüşebilir; ama belli bir birey için bu durumun gerçekleşmesi olasılığı son derece düşüktür. Bu nedenle fosil kayıtları son derece tek taraflıdır: sürekli tortu oluşumunun görüldüğü sığ denizlerde yaşayan deniz organizmalarına ait kayıtlar son derece iyiyken, en kötü fosil kayıtları örneği uçan canlılara aittir. Ayrıca, örneğin iklimdeki bir değişim ya da deniz yatağının yukarı kalkması tortu birikmesini engelleyebilir. Birçok canlıya ait hiçbir fosil kaydı bulunmamaktadır; kimi canlılardaysa fosil kayıtları oluşumu pek çok kez kesintiye uğramıştır.

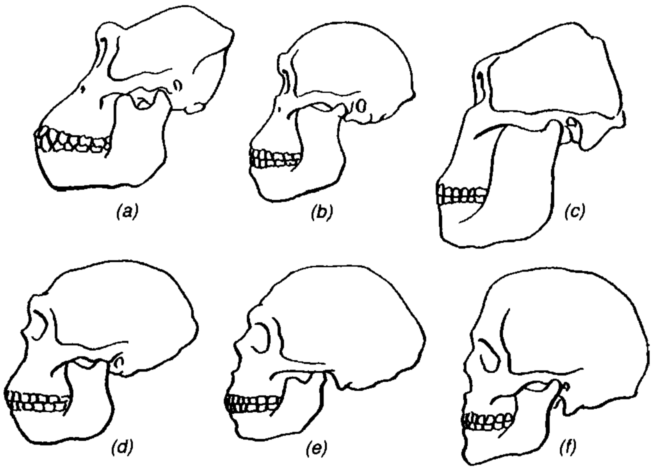
Koelakant, bu eksikliğin yarattığı sorunlara mükemmel bir örnektir. İlk kara omurgalılarının atalarının akrabası olan, saçakyüzgeçli bir kemiklibalıktır bu. Devoniyen dönemde (400 milyon yıl önce) koelakant sayısı çok yüksekti, ama zamanla sayıları azaldı. Son koelakant fosilleri yaklaşık 65 milyon yıl öncesine aittir ve grubun soyunun uzun

zaman önce tükenmiş olduğu düşünülmekteydi. Ama 1939'da Afrika'nın güneydoğu kıyıları açıklarındaki Komoro adalarından gelen balıkçılar tuhaf görünüşlü bir balık yakaladılar ve bunun bir koelakant olduğu anlaşıldı. Bundan sonra bilim adamları yaşayan koelakantların alışkanlıklarını inceleyebildiler ve Endonezya'da yeni bir koelakant popülasyonu keşfedildi. Koelakantlar çok uzun bir süre boyunca varlıklarını korumuş olmalılar, ama sayılarının azlığı ve çok derinlerde yaşamaları nedeniyle arkalarında fosil kayıtları bırakmamışlardı.

Fosil kayıtlarındaki boşluklar, evrim hipotezi uyarınca beklenen az çok sürekli değişimlerin gözlenebileceği uzun süreli kalıntı dizilerinin ender olması anlamına gelmektedir. Çoğu örnekte yeni bitki ya da hayvan grupları fosil kayıtlarına ilk kez, daha önceki canlılara gözle görülür bağlantılar taşımadan girerler. Bu durumun en ünlü örneği, başlıca hayvan gruplarının fosil olarak ilk kez 550 ila 500 milyon yıl önceki Kambriyen döneminde ortaya çıktıkları gerçeğini ifade eden "Kambriyen patlaması"dır (bu konu 7. Bölüm'de yeniden ele alınacaktır).

Yine de, Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nde etkileyici bir şekilde savunduğu gibi, fosil kayıtlarının genel özellikleri evrime güçlü bir kanıt oluşturmaktadır. O dönemden bu yana paleontologların yaptıkları keşifler Darwin'in savlarını güçlendirmiştir. İlk olarak, eskiden birbirlerinden aşılmaz uçurumlarla ayrıldıkları düşünülen grupları birbirlerine bağlayan pek çok ara yapı örneği keşfedilmiştir. *Türlerin Kökeni*'nin yayınlanmasından kısa bir süre sonra keşfedilen kuş-sürüngen *Archaeopteryx* fosili belki de en ünlü örneklerden biridir. *Archaeopteryx* fosillerinin sayısı çok azdır

(yalnızca altı örnek bulunmaktadır). Almanya'daki büyük bir gölde oluşmuş, Jura dönemine ait yaklaşık 120 milyon yıllık bir kireçtaşı oluşumu içinde bulunmuşlardır. Örneğin kanat ve tüy gibi özellikleri günümüz kuşlarını, (gaga yerine) dişli bir çene ve uzun bir kuyruk gibi özellikleriyse sürüngenleri hatırlatan bir özellikler mozaiği görülür bu canlılarda. İskeletlerinin pek çok ayrıntısı o dönemin bir grup dinozorundan ayırt edilememektedir, ama uçabildiği



10. İnsanın bazı atalarının ve akrabalarının kafatasları. A. Dişi goril. B ve C. İnsanın en eski akrabalarından biri olan *Australopithecus*'un yaklaşık üç milyon yıl öncesine ait iki ayrı türünün fosilleri. D. *Australopithecus* ile *Homo erectus* adı verilen modern insan arasındaki, yaklaşık 1.5 milyon yıl öncesine ait bir ara aşama fosili. E. Yaklaşık 700,000 yıl öncesine ait Neanderthal insanı (*Homo neanderthalensis*) fosili. F. Modern insan *Homo sapiens.*

çok açık olduğundan, *Archaeopteryx* onlardan farklıdır. Sonradan kuşlarla dinozorları birbirlerine bağlayan başka fosiller bulunmuş ve yakın zamanlarda, *Archaeopteryx*'ten de önce kuşlarınki gibi tüyleri olan dinozorların yaşamış olduğu görülmüştür. Diğer önemli ara canlılar arasında, ön bacakları ve küçülmüş arka bacakları yüzmeye uyarlanmış olan, Eosen bölüme (yaklaşık 60 milyon yıl önce) ait fosilleşmiş memeliler yer alır. Bu canlılar günümüzdeki balinaları, ineklerin ve koyunların da dahil olduğu çataltırnaklı otçullar grubunda yer alan hayvanlara bağlar.

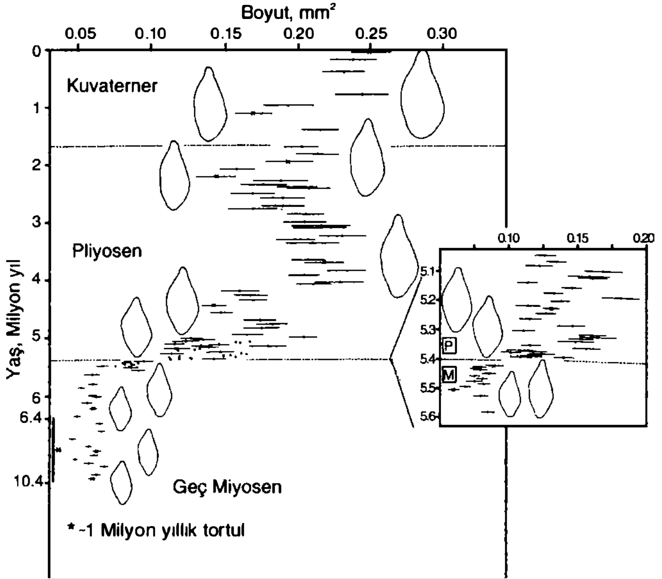
İnsan, kayıtlardaki boşlukların yeni araştırmalar yapıldıkça doldurulmasına mükemmel bir örnektir. Darwin'in insanın evrimi hakkındaki 1871 tarihli kitabı *İnsanın Kökeni* yayınlandığında insansımaymunlarla insanları birbirlerine bağlayan hiçbir fosil yoktu. Darwin anatomik benzerliklere dayanarak insanın en yakın akrabalarının gorillerle şempanzeler olduğunu ve dolayısıyla, aynı zamanda bu insansımaymunların da türemiş oldukları Afrikalı bir atadan türemiş olabileceğini savunmuştu. O zamandan bu yana pek çok fosil kalıntısı bulunmuş ve daha önceden anlatmış olduğumuz yöntemler kullanılarak doğru bir şekilde tarihlendirilmiştir; ayrıca yeni fosiller de bulunmaktadır. Zamanda günümüze yaklaşıldıkça fosiller günümüz insanlarına daha çok benzemektedir (Şekil 10); kesin olarak *Homo sapiens*'e atfedilebilen en eski fosil yalnızca birkaç yüz bin yıl öncesine tarihlendirilmektedir. Darwin'in çıkarımlarına uygun olarak, erken dönem insan evrimi muhtemelen Afrika'da gerçekleşmiştir ve akrabalarımızın Avrasya'ya ilk olarak 1,5 milyon yıl önce girmiş olmaları mümkün görünmektedir.

Tek bir evrimleşen soydaki değişimin kaydını sunduğu kesin görünen, neredeyse tümüyle kesintisiz fosil dizileri örnekleri de bulunmaktadır. En iyi örnekler deniz dibindeki, uzun kayaç sütunlarının ele geçirilebildiği birikintilerden alınan örneklerin incelenmesi sonucunda elde edilmiştir. Bu çalışmalarda, fosilleşmiş iskeletleriyle kayanın gövdesini oluşturan mikroorganizmaların birbirini izleyen örnekleri arasında son derece ince bir zaman ayrımı yapılabilmektedir. Tekhücreli deniz hayvanları olan foraminiferler (delikliler) gibi canlıların iskelet biçimlerinin dikkatle ölçülmesi, uzun bir dönem boyunca birbirini izleyen popülasyonlarda hem ortalamaların hem de değişkenlik düzeylerinin tanımlanabilmesini sağlamaktadır (Şekil 11).

Fosil kayıtlarında ara canlılar bulunmuş olmasaydı bile, evrim ışığı altında incelenmeden kayıtların genel özelliğinin anlaşılması pek de mümkün olmazdı. Kambriyen Dönem öncesinde fosil kayıtlarında eksik parçalar olsa da, bakterilerin ve akraba tekhücreli organizmaların kalıntılarının 3,5 milyar yıldan fazla bir süre öncesine dayandığını gösteren kanıtlar bulunmaktadır. Çok sonralara bakıldığında, daha gelişmiş (ökaryot) hücrelerin kalıntılarına rastlanıyor, ama çokhücreli organizmalara ait kanıtlara hâlâ rastlanmadığını görüyoruz. Basit hücre kümelerinden oluşan organizmalar ancak 800 milyon yıl önce, Yerküre'nin büyük oranda buzla kaplı olduğu bir çevre krizi döneminde ortaya çıkıyor. Yaklaşık 750-550 milyon yıl önceye bakıldığındaysa yumuşak bedenli, çokhücreli hayvan yaşamına dair kanıtlarla karşılaşıyoruz.

Daha önce de belirtmiş olduğumuz gibi, sert iskeletlerle ilişkilendirilen hayvan kalıntıları ancak 500 milyon yıl

önce, Kambriyen döneme ait kayaçlarda bollaşmaktadır. Kambriyen dönemin sonuna, yani yaklaşık 500 milyon yıl önceye bakıldığında, çeneleri olmayan ve günümüz taşe-menlerini hatırlatan balık benzeri ilkel omurgalılar da da-



11. Bir dizi fosilde aşamalı evrimsel değişim. Şekilde, tekhücreli bir deniz hayvanı olan bir deliklinin (*Globorotalia tumida*) fosil örneklerinde beden büyüklüğü ortalamaları ve aralıkları gösterilmektedir. Bu soyda büyüklük, iki süreksizlik dönemi hariç, aşamalı olarak değişmektedir. Geç Miyosen'le Pliyosen bölümler arasındaki sınırda yer alan daha ayrıntılı bir fosil dizisi (kutucukta), gözlenen süreksizliğin neredeyse tümüyle, çok hızlı bir değişim dönemini yansıttığını gösterir, zira birbirini izleyen örnek aralıkları birbirleriyle çakışmaktadır. 4 milyon yıl önceden hemen önceki süreksizlik için şu anda hiçbir fosil verisi bulunmamaktadır.

hil olmak üzere neredeyse tüm başlıca hayvan gruplarına dair kanıtlara rastlanır.

Bu döneme dek tüm yaşam deniz birikintileriyle bağlantılıdır ve elimizdeki yegâne bitki kalıntıları, çokhücreli kara bitkilerinin sıvı nakli için kullandıkları damarların bulunmadığıalglerdir. 440 milyon yıl öncesine gelindiğinde tatlı su yaşamına dair kanıtlar görülür; bunları ilk kara bitkilerinin varlığına işaret eden fosil sporlar izler; denizlerde çeneleri olan, köpekbalığına benzer balıklar ortaya çıkar. Devoniyen'de (400-360 milyon yıl önce) tatlı su ve kara yaşamına ait kalıntılar çok daha yaygınlaşır ve çeşitlenir. İlkel böceklere, örümceklere, kenelere, kırkayaklara ve ayrıca basit damarlı bitkilere ve mantarlara dair kanıtlar görülür. Çeneleri olan kemikli iskeletli balıklar yaygınlaşır; bunların arasında yer alan saçakyüzgeçli balıklar, Devoniyen sonunda ortaya çıkan ilk semender benzeri ikiyaşayışlılara benzer. Bunlar ilk kara omurgalılarıdır.

Bir sonraki jeolojik kayıt bölümü olan Karbonifer'de (360-280 milyon yıl önce) kara canlıları bollaşır ve çeşitlenir. Bu döneme adını veren kömür birikintileri tropikal bataklıklarda yetişen ağaca benzer canlıların fosilleşmiş kalıntılarıdır, ama bunlar günümüzün atkuyruklarına ve eğreltiotlarına benzerler ve günümüzün kozalaklılarıyla ya da yaprak döken ağaçlarıyla akraba değillerdir. Sudan tamamen bağımsız olarak yaşayabilen ilk omurgalılar olan ilkel sürüngenlerin kalıntılarına Karbonifer'in sonunda rastlanır. Permiyen'de (280-250 milyon yıl önce) büyük bir sürüngen çeşitliliğiyle karşılaşılır ve bunlardan bazılarının giderek memelileri hatırlatan anatomik özellikleri olduğu görülür (memeli benzeri sürüngenler). Örneğin yarım-

kanatlılar ve kınkanatlılar gibi bazı günümüz böcek grupları ortaya çıkar.

Permiyen, örneğin trilobitler gibi önceden baskın olan grupların tümüyle ortadan kalktığı ve başka pek çok grubun neredeyse yok olduğu, fosil kayıtlarındaki en büyük soy tükenmesi dizisiyle sona erer. Sonraki toparlanma döneminde hem karada hem de denizde çeşitli yeni canlılar ortaya çıkacaktır. Triyas'ta (250-200 milyon yıl önce) günümüz kozalaklılarına ve *Cycadales* türlerine benzer bitkiler görülür. Dinozorlar, kaplumbağalar ve ilkel timsahlar ortaya çıkar; dönem sonuna gelindiğindeyse ilk gerçek memelilere rastlanır. Bunlar öncellerinden, doğrudan kafatasına bağlı tek bir kemiği olan bir altçeneleri olmalarıyla ayrılırlar (sürüngen kafatasında bu bağlantıyı oluşturan üç kemik, memeli kulağının küçük iç kemiklerine dönüşmüştür, bkz 3. Bölüm). Denizde günümüzdekilere benzer kemiklibalıklar ortaya çıkar. Jura'da (200-140 milyon yıl önce) memelilerde belli bir çeşitlenme görülür, ama kara yaşamına hâlâ sürüngenler, özellikle de dinozorlar hâkimdir. Uçan sürüngenler ve *Archaeopteryx* ortaya çıkar. Sinekler ve termitler ilk kez görülür ve denizde yengeç ve ıstakozlara rastlanır. Çiçekli bitkiler ancak Kretase (Tebeşir) Dönemi'nde (140-65 milyon yıl önce) gelişir. Bu döneme gelindiğinde günümüzün başlıca böcek gruplarının tümüne rastlanmaktadır. Kretase'nin ortasında keseli memeliler (keseliler) ortaya çıkar ve dönemin sonuna doğru günümüzün eteneli memelilerine benzer canlılara rastlanır. Dinozorların sayısı hâlâ yüksektir, ama dönem sonuna gelindiğinde azalmaya başlar.

Kretase Dönemi en ünlü soy tükenmesi olayıyla sona erer; Meksika'daki Yucatanan yarımadasına düşen bir aste-

roitin etkisiyle ilişkilendirilir bu olay. Tüm dinozorlar (kuşlar hariç) ve ayrıca, bir zamanlar karada ve denizde yaygın olarak görülen başka pek çok canlı ortadan kalkar. Bunu büyük Buz Çağlarının başlarına, yani yaklaşık 2 milyon yıl öncesine dek uzanan Tersiyer Dönem izler. Tersiyer'in 65 ila 38 milyon yıl öncesi arasındaki ilk bölümleri sırasında başlıca eteneli memeliler grupları ortaya çıkar. Başlangıçta bunlar daha çok, örneğin sivrifare gibi günümüz böcekçillerine benzerler, ama bu dönemin sonuna gelindiğinde bazıları belirgin özellikler kazanmıştır (örneğin balinalar ve yarasalar ayırt edilebilir). Başlıca kuş gruplarının çoğuna ve ayrıca günümüzdeki tipte omurgasızlara ve çimen hariç başlıca çiçekli bitki gruplarının tümüne rastlanır. Temelde günümüzdeki tipte kemiklibalıklar boldur. 38 ila 26 milyon yıl öncesi arasında, (günümüz atlarının tek toynağı yerine) üç toynakları olan, ata benzer otlayan hayvanlarla ilişkilendirilen otlaklar ortaya çıkar. İlkel insansımaymunlar da ortaya çıkar. 26 ila 7 milyon yıl önce arasında Kuzey Amerika'da çayırlar yaygındır ve otlamaya uyarlanmış uzun dişleri ve kısa yan toynakları olan atlara rastlanır. Örneğin domuz, geyik ve deve gibi çeşitli toynaklılar ve fil ortaya çıkar. Özellikle de Afrika'da insansımaymun ve maymun çeşitliliği artar. 7 ila 2 milyon yıl öncesine bakıldığında deniz yaşamının temelde günümüzdekine benzediği görülür, ama o dönemlerde yaşamış olan pek çok canlının soyu tükenmiştir. İnsana özgü özellikler taşıyan ilk canlı kalıntıları bu dönemde ortaya çıkar. Tersiyer'in sonunda, yani 2 milyon ila 10,000 yıl öncesi arasında bir dizi Buzul Çağı görülür. Çoğu hayvan ve bitki temelde günümüzdeki yapıdadır. 10,000 yıl önceki son Buzul Çağı ile

günümüz arasında insanlar baskın kara hayvanı olur ve pek çok büyük memelinin soyu tükenir. Bu dönemde örneğin adalarda çeşitli büyük memeli türlerinin cüce formlarının gelişmesi gibi, evrimsel değişime dair bazı fosil kanıtlar bulunmaktadır.

Dolayısıyla fosil kayıtları yaşamın 3 milyar yılı aşkın bir süre önce denizde başladığına ve bir milyar yıldan fazla bir süre boyunca yalnızca, bakterilerle akraba tekhücreli organizmalarla sınırlı kaldığına işaret etmektedir. Bir evrim modelinde beklenecek olan tam da budur; mekanizmanın evriminin genetik kodu protein dizilerine çevirmesi gerekiyordu ve en basit hücrenin karmaşık örgütlenmesinin oluşması için bile ayrıntıları bizim hayal gücümüze sığmayacak sayısız adım gerekmiş olmalı. Prokaryotlara kıyasla çok daha karmaşık bir düzenlemeleri olan ökaryot hücrelere ait kesin kanıtların kayıtlarda geç ortaya çıkması da evrimle tutarlıdır. Tek bir hücreden gelişmeleri, büyümenin ve farklılaşmanın kontrol edilmesi için ayrıntılı haberleşme mekanizmaları gerektiren çokhücreli organizmalar için de aynı durum geçerlidir: bunların tekhücreli canlılardan önce gelişmeleri mümkün değildir. Basit çokhücreli canlıların ilk olarak ortaya çıkmalarından sonra Kambriyen'de olduğu gibi hızla çeşitlenerek farklı yaşam tarzlarına uyarlanmış canlılara dönüşmeleri anlaşılabilir bir durumdur. Uyarlanma ve çeşitlenme konularını bir sonraki bölümde ele alacağız.

Evrim bakış açısından, yaşamın çok uzun bir süre boyunca denizle sınırlı kalması da anlaşılabilir bir durumdur. Yerküre tarihinin erken dönemlerine bakıldığında, jeolojik kanıtlar atmosferde pek az oksijen olduğunu göstermek-

tedir. Oksijenden oluşan ozon tabakasının ultraviyole ışınımına karşı sağladığı koruma olmadığından karada ve hatta tatlı suda yaşam ortaya çıkamayacaktı. Erken dönem bakteri ve alglerin fotosentez faaliyetlerinin sonucunda yeterli oksijen oluştuğunda bu engel ortadan kalktı ve karada yaşam olanağı doğdu. Kambriyen'e giden dönem sırasında atmosferde oksijen düzeyinin yükseldiğine dair kanıtlar bulunmaktadır ve bu da daha büyük ve karmaşık hayvanların gelişmesine fırsat tanımış olabilir. Aynı şekilde, uçan böcek ve omurgalı fosillerinin karada yaşamın başlamasından sonra ortaya çıkması da mantıklıdır, çünkü gerçek uçan hayvanların tümüyle suda yaşayan canlılardan gelişmeleri olası değildir.

Arka arkaya çok sayıda ve çeşitli canlıların ortaya çıkması, ardından (tribolitlerde ve dinozorlarda olduğu gibi) soylarının tükenmesi ya da yalnızca bir ya da birkaç hayatta kalmış canlıya (örneğin koelantlar) indirgenmeleri de, mekanizmalarının öngörüsü bulunmayan ve ürünlerinin ani ve büyük çevre değişimlerine rağmen hayatta kalabileceğine garanti veremeyen evrim açısından mantıklıdır. Grupların yeni bir habitatın kolonileştirilmesinden (örneğin kara yaşamına geçilmesi) ya da baskın bir rakip türün soyunun tükenmesinden (örneğin dinozorların yok olmasından sonra memelilerin durumu) sonra hızla çeşitlenmesi de aynı şekilde, evrim ilkelerine göre beklenen bir durumdur.

Dolayısıyla, fosil kayıtlarının biyolojik bilgi terimleriyle yorumlanmasında, yerbilimcilerin Yerküre'nin yapısının tarihine uyguladıkları aynı birörneklik ilkesi uygulanır. Fosil kanıtları evrimi yalanlayan modellere işaret edebilirdi.

Büyük evrimci ve genetikçi J. B. S. Haldane'in hangi gözlemin evrim inancından vazgeçmesine yol açacağı sorulduğunda, "Kambriyen Dönem öncesine ait bir tavşan," dediği söylenir. Şu ana dek böyle bir fosile rastlanmamıştır.

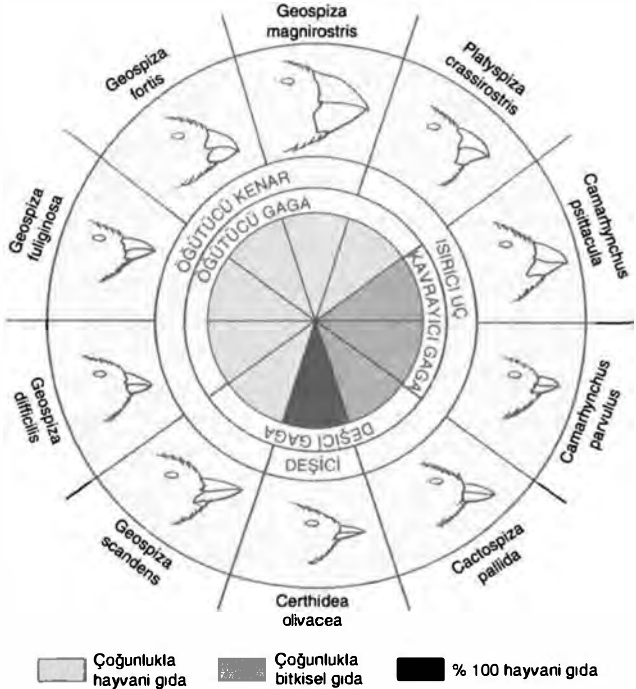
Coğrafi Modeller

Yalnızca evrim terimleriyle mantıklı görünen bir başka önemli olgu bütünü de, Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nin on beş bölümünden ikisinde anlattığı gibi, canlıların zamansal değil coğrafi dağılımlarına dayanmaktadır. Bu durumun en çarpıcı örneklerinden biri, jeolojik kanıtların volkanik faaliyetler sonucunda oluştuklarını ve hiçbir zaman bir kıtaya bağlı olmadıklarını gösterdiği Galapagos ve Hawaii adaları gibi okyanus adalarının bitey ve direyidir. Evrim kuramına göre bu tür adaların günümüzdeki sakinlerinin, yeni oluşan adaları canlıların yaşadığı en yakın karadan ayıran büyük mesafeleri aşabilecek bireylerin soyundan gelmiş olmaları gerekmektedir. Bu da böyle yerlerde görebileceğimiz canlı türlerine çeşitli sınırlamalar getirir. İlk olarak, yeni oluşmuş ücra bir bölgede kolonileşmenin güç olması pek az türün bu bölgeye yerleşebilmesi anlamına gelir. İkinci olarak, yalnızca yüzlerce ya da binlerce millik okyanusu aşabilmelerini sağlayacak özellikleri olan organizmalar buraya yerleşebileceklerdir. Üçüncü olarak, temsil edilen gruplar içerisinde bile, adalara ulaşan tür sayısının az olması nedeniyle, hangi türlerin görüleceğinde rastlantısallık etkili olacaktır. Son olarak, bu ücra adalarda gerçekleşecek evrim başka yerlerde rastlanmayan pek çok canlı üretecektir.

Kanıtlar bu beklentileri çarpıcı derecede doğrulamaktadır. Benzer iklim şartlarının görüldüğü kıtalarla ya da kıyı açıklarındaki adalarla kıyaslandığında okyanus adalarında gerçekten de, başlıca gruplardan görece pek az türün bulunduğu görülür. İnsanların müdahalesinden önce okyanus adalarında karşılaşılan tipte organizmalar başka yerlerde görülen organizmaları hiçbir şekilde temsil etmez. Örneğin, sürüngenlere ve kuşlara genellikle rastlanır, kara memelileri ve ikiyaşayışlılarsa yoktur. Yeni Zelanda'da insanın gelişinden önce hiç kara memelisi yoktu, ama iki yarasa türü vardı. Bu da yarasaların geniş tuzlu su kütlelerini geçebilme yeteneklerinin sonucudur. İnsan müdahalesinden sonra pek çok türün sınırsızca yayılması, yerel şartların yerleşmeye uygun olabileceğini açıkça göstermektedir. Ama buralarda karşılaşılan başlıca hayvan ve bitki tipleri arasında bile bazı grupların hiç temsil edilmediği, bazılarınınsa orantısız şekilde temsil edildiği görülür. Bu nedenle Galapagos adalarında yalnızca 20'nin üstünde kara kuşu türü vardır ve bunlardan 14'ü ispinozdur; Darwin'in *HMS Beagle*'la dünyayı dolaşması hakkındaki anlatısında bahsettiği ünlü ispinozlardır bunlar. İspinozların kara kuşları direyinin yalnızca küçük bir parçasını oluşturduğu başka yerlerdeki duruma pek benzemez bu. Başlangıçtaki kolonici kuş türü sayısının çok az olduğu ve bu türlerden birinin de günümüzdeki türlerin atası olan bir ispinoz türü olduğu bir durumda beklenecek sonuç tam da budur.

Bu görüşün işaret edeceği gibi, okyanus adaları yalnızca kendilerine özgü, ama anakara türleriyle bağlantılı pek çok canlı örneği sunarlar bizlere. Örneğin, Galapagos adalarında görülen bitki türlerinin % 34'üne başka hiçbir yerde

rastlanmaz. Darwin ispinozlarının gaga boyut ve şekillerinde (normalde geniş, derin gagaları olan ve tohum yiyen) ispinozlarda alışıldık olandan çok daha fazla çeşitlilik görülür ve bu gagaların farklı yiyecek toplama tarzlarına uyarlanmış olduğu açıktır (Şekil 12). Örneğin keskin gagalı yer ispinozu *Geospiza difficilis*'in deniz kuşlarının arka taraf-



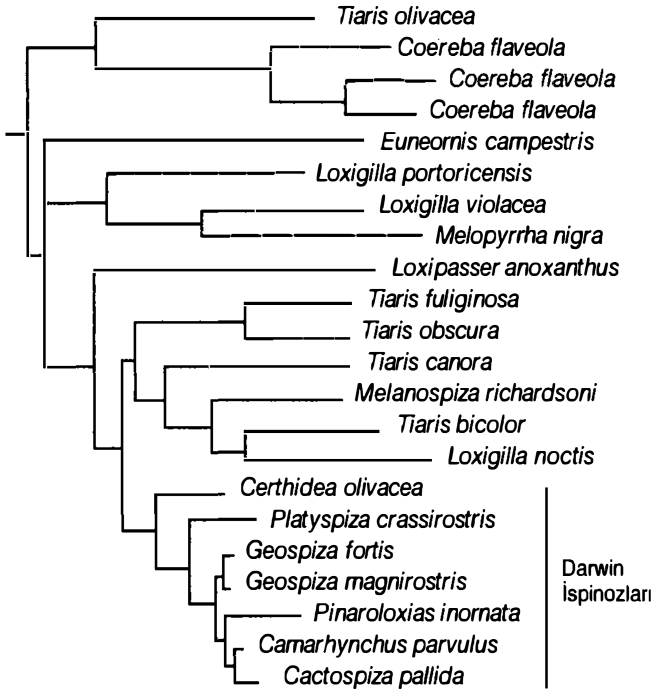
12. Darwin ispinozlarının gagaları, diyetleri farklı olan türler arasındaki büyüklük ve şekil farklılıklarını göstermektedir.

larını gagalayıp kanlarını içmesinde olduğu gibi, bu yiyecek bulma yöntemlerinden bazılarının son derece tuhaf olduğu görülmektedir. Ağaçkakan ispinozu *Cactospiza pallida* ise kurumuş ağaçlardaki böcekleri dal parçalarını ya da kaktüs iğnelerini kullanarak çıkarır. Başka okyanus adaları gruplarında daha da şaşırtıcı evrim örnekleri görülür. Örneğin, Hawaii'de rastlanan meyve sineği *Drosophila* türü sayısı dünyanın geri kalan kısımlarında rastlanan tür sayısından fazladır ve bunların beden boyutlarında, kanat modellerinde ve beslenme alışkanlıklarında şaşırtıcı bir çeşitlilik görülür.

Bu gözlemler, ada türlerinin kolonici atalarının kendilerini yerleşik rakip türlerin görülmediği ortamlarda bulmuş olmalarıyla açıklanabilir yalnızca. Bu durum kolonicilerin yeni yaşam tarzlarına uyarlanmalarına ve bir ata türün pek çok yavru türe bölünmesini sağlayacak özelliklerin gelişmesine izin verecektir. Darwin ispinozlarında görülen alışılmadık yapı ve davranış modifikasyonlara rağmen, DNA'ları 3. ve 6. bölümlerde anlatılan yöntemlerle incelendiğinde bu türlerin kökeninin görece yakın bir zamana, yaklaşık 2,3 milyon yıl önceye dayandığı ve anakara türleriyle yakın akraba oldukları görülür (Şekil 13).

Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nde Galapagos adalarının sakinlerini anlatırken yazmış olduğu gibi:

> Burada karanın ve suyun neredeyse her ürünü Amerika kıtasının kuşku götürmez damgasını taşıyor. Yirmi altı kara kuşu var; ve Bay Gould bunların yirmi beşini burada yaratılmış oldukları varsayılan ayrı türler olarak sınıflandırıyor; ama bu kuşların çoğunun her özelliklerinde, alışkanlıklarında,



13. Darwin ispinozlarının ve akrabalarının evrim ağacı. Ağaç farklı türlerin mitokondrilerindeki bir genin DNA dizilişlerinde görülen farklılıklar temel alınarak çizilmiştir. Soyağacındaki yatay dalların uzunlukları türler arasındaki (en yakın akraba türler arasında % 0.2'den en farklı türler arasında % 16.5 düzeyine uzanan) farklılıkları yansıtmaktadır. Soyağacı Galapagos türlerinin ortak bir atadan gelen bir küme oluşturduğunu ve bu genin dizilişinin hepsinde aynı olduğunu göstermektedir; bu da söz konusu atanın oldukça yakın tarihlerde yaşamış olması görüşüyle tutarlıdır. Diğer akraba ispinoz türleriyse aksine, birbirlerinden çok daha farklıdırlar.

hareketlerinde ve ses tonlarında Amerikan türlerine yakınlıkları açıkça görülüyordu. Doktor Hooker'ın bu takımadanın Biteyi hakkındaki hayranlık uyandırıcı çalışmasında gösterdiği gibi, diğer hayvanlar ve neredeyse tüm bitkiler için de bu böyle. Pasifik'teki, kıtadan yüzlerce mil uzaktaki bu volkanik adaların sakinlerine bakan doğabilimci Amerikan topraklarında durduğunu zannediyor. Bu neden böyle olsun? Başka hiçbir yerde değil, Galapagos Takımadalarında yaratıldığı varsayılan türler neden, Amerika'da yaratılan türlere böylesine yakın olduklarını gösteren bir damga taşısınlar? Yaşam koşullarında, adaların jeolojik yapısında, yüksekliklerinde ya da iklimlerinde yahut farklı sınıflar arasındaki bağlantıda Güney Amerika kıyılarının şartlarına yakından benzeyen hiçbir şey yok; hatta tüm bu açılardan önemli bir farklılık var.

Bu soruların yanıtlarını evrim kuramı veriyor elbette; 150 yılı aşkın bir süredir ada yaşamı üzerinde yapılan araştırmalar Darwin'in olağanüstü içgörülerini fazlasıyla doğruluyor.

V. Bölüm

UYARLANMA VE DOĞAL SEÇİLİM

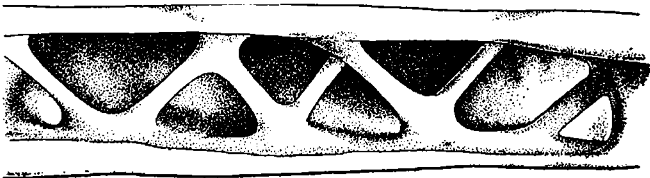
Uyarlanma Sorunu

Evrim kuramının önemli görevlerinden biri, canlı organizma çeşitliliğini aralarındaki benzerliklerin hiyerarşik düzeni içerisinde açıklamaktır. 3. Bölüm'de farklı gruplar arasındaki benzerlikleri ve Darwin'in modifikasyon yoluyla türeme kuramı bağlamında bu benzerliklerin mantıklı göründüğünü vurguladık. Evrim kuramının ikinci temel parçası yaşayan organizmaların "uyarlanma"larına bilimsel bir açıklama getirmektir: bu organizmalarda karşılaştığımız başarılı mühendislik görüntüsüne ve farklı yaşam tarzlarına bağlı olarak çeşitliliklerine. Bunun için de bu kitaptaki en uzun bölüme ihtiyaç vardır.

Elimizde sayısız uyarlanma örneği var ve biz burada sorunun yapısını göstermek amacıyla bunların birkaçından bahsedeceğiz. Farklı göz türü çeşitliliği kendi başına hayret verici bir olgu belki, ama farklı hayvanların içerisinde yaşa-

dıkları ortamlar düşünüldüğünde son derece mantıklı. Su altında görme amaçlı gözler havada görme amaçlı gözlerden farklıdır ve avcı türlerin gözlerinde avın görülmeyi zorlaştırmak üzere geliştirmiş olduğu kamuflajı aşma amaçlı özel uyarlanmalar görülür. Saydam deniz hayvanlarıyla beslenen pek çok sualtı avcı türün gözlerinde morötesi görme yetisi ve kutuplaşmış ışık görüşü gibi özel kontrast artırma sistemleri vardır. Diğer iyi bilinen uyarlanma örnekleri arasında kuş kanatlarındaki, içinde uçak kanatlarını hatırlatan destekler olan içi boş kemikler (Şekil 14) ya da hareketli parçaların birbirleri üzerinde rahatça hareket etmesini sağlayan hayvan eklemlerinin olağanüstü yapısı yer alır.

Hayvanlarda farklı beslenme yollarıyla bağlantılı uyarlanmalarda ve beslendikleri organizmaların bunlara karşı geliştirdikleri uyarlanmalarda da başka pek çok örnekle karşılaşırız. Kelebeklerin çiçeklerin derinlerdeki kısımlarına ulaşıp nektarlarını emebilmelerini sağlayan uzun dilleri vardır; buna karşılık olarak çiçekler de böceklere daha iyi görünecek biçimlerdedir ve hem kokularıyla hem de ziyaretçilerini nektarla ödüllendirerek kendi reklamlarını yaparlar. Kurbağalarla bukalemunların hızla savurup yapış-



14. Bir akbabanın, içinde güçlendirici destekler olan içi boş kanat kemiği.

kan uçlarıyla böcekleri yakalayabilecekleri uzun dilleri vardır. Pek çok hayvanda avcı türlerden kaçmalarına yardımcı olacak uyarlanmalar görülür ve bu tür hayvanların görünüşleri yaşadıkları ortama bağlıdır. Pek çok balık türünde gümüşümsü renk suda görülmelerini zorlaştırır, oysa bu renk kara hayvanlarının pek azında görülür. Bazı hayvanlarda renk benzetme özelliği vardır; yaprakları ya da ince dalları veya başka zehirli ya da sokan böcekleri gerçeğe çok yakın bir şekilde taklit ederler.

Uyarlanmalara hayvan, bitki ve mikropların yaşamlarında hücre mekanizmasına ve kontrollerine dek (bu konuyu 3. Bölüm'de açıklamıştık) her düzeyde pek çok ayrıntıda rastlanılabilmektedir. Örneğin, hücre bölünmesi ve hücre hareketleri için gerekli enerji protein moleküllerinden yapılmış küçük motorlarca sağlanır. Yeni hücre üretimi sırasında genetik madde kopyalanırken yeni üretilmiş DNA üzerinde gerçekleşen düzelti süreci zararlı mutasyon sıklığını binlerce kat azaltır. Hücre yüzeylerindeki protein bileşikleri bazı kimyasal maddelerin içeri girmesine izin verir, bazılarınıysa engeller. Sinir hücrelerinde bu maddeler elektrik yüklü metal atomlarının hücre yüzeyi boyunca akarak sinirler boyunca bilgi iletilmesinde kullanılan elektrik sinyallerini üretmesini denetlemekte kullanılır. Hayvanların davranış modelleri sinir faaliyeti modellerinin nihai sonucudur ve yeni yaşam biçimlerine uyarlanmış oldukları açıkça görülür. Örneğin kuşlarda guguk kuşu gibi yuva asalakları konak türün yumurta ya da yavrularını yuvadan atarak kendi yavrularını konağa besletirler. Buna karşılık olarak konak türler daha tetikte olmalarını sağlayan uyarlanmalar geçirirler. Mantar "bahçeleri" yetiştiren karıncalarda çürü-

mekte olan yapraklarını kirleten mantar sporlarını ayıklamak gibi davranışlar gelişmiştir. 7. Bölüm'de de açıklayacağımız gibi, yaşlanma hızında bile hayvanın ya da bitkinin içinde yaşadığı ortama göre uyarlanma görülür.

Darwin ve Wallace'tan önce bu tür uyarlanmaların açıklanması için bir Yaratıcı kavramına ihtiyaç vardı. Tıpkı bir saatin karmaşıklığının doğal bir üretimin sonucu olamaması gibi, yaşayan organizmaların pek çok yönünde görülen şaşırtıcı ayrıntıları ve görünürdeki mükemmelliği açıklamanın başka bir yolu yoktu. 18. yüzyıl teologlarının bir Yaratıcı'nın varlığını "kanıtlamak" için geliştirmiş oldukları *Tasarım Savı*'nın başlıca dayanağı başka bir açıklamanın olmamasıydı ve *uyarlanma* terimi canlıların kendilerine yararlı görünen yapılara sahip oldukları gözlemini tanımlamak amacıyla kullanılmıştı. Bunların uyarlanma olarak tanımlanmasının bir soru yarattığının anlaşılması çok önemli. Uyarlanmanın bir açıklama gerektirdiğinin görülmesi yaşam hakkındaki anlayışımıza çok değerli bir katkıydı.

"Hayvan, sebze ya da mineral" oyununun da gösterdiği gibi, hayvan ve bitkilerin kaya ve mineral gibi doğal olarak üretilmiş diğer şeylerden farklı olduklarına kuşku bulunmamaktadır. Ama Tasarım Savı minerallerle kayaları, dağlarla nehirleri üreten doğal süreçlerin yanı sıra karmaşık doğal üretimler olarak canlılara da bir Tasarımcı'ya gerek kalmadan açıklama getirebilecek doğal süreçler olabileceği olasılığını göz ardı eder. Uyarlanmanın kökeni konusundaki biyolojik açıklamaysa bir Tasarımcı fikrinin yerine geçer ve Darwin sonrası evrim biyolojisinde temel önem taşır. Bu bölümde modern uyarlanma kuramını ve bu kuramın nedenleriyle temelini açıklayacağız. Bu açıklama 2.

Bölüm'de bahsetmiş olduğumuz doğal seçilim kuramına dayalıdır.

Yapay Seçilim ve Kalıtımsal Çeşitlilik

Darwin'in özellikle vurgulamış olduğu ilk ve son derece yerinde gözlem, organizmaların insanlarca değiştirilmesinin mümkün olduğu ve doğada gördüğümüzle aynı tasarlanmış olma görüntüsünün yaratılabileceğidir. *Yapay seçilim*, yani istenen özellikleri taşıyan hayvan ve bitkilerle yapılan seçici üretim yöntemiyle bu rutin olarak gerçekleştirilmektedir. Evrimin fosil kayıtları ölçeğine göre kısa bir zaman çerçevesi içerisinde çarpıcı değişimler yaratılabilmektedir. Örneğin, pek çok farklı lahana soyu geliştirmeyi başardık; bunlardan bazıları çok büyük çiçeklerden büyük bir kafanın oluştuğu mutantlar olan, karnabahara ya da brokoliye benzer bitkiler, bazılarıysa yaprak gelişiminin anormal olduğu Brüksel lahanaları. Aynı şekilde, insanlar pek çok köpek soyu da yetiştirdiler (Şekil 15B) ve bu soylarda Darwin'in de belirttiği gibi doğadaki farklı türler arasında görülenlere çok benzer farklılıklara rastlanıyor. Ama (kır kurdu ve çakal da dahil olmak üzere) tüm *Canis* türlerinin yakın akraba olmalarına ve birbirleriyle çiftleşebilmelerine karşın köpek soyları farklı yaban köpeği türlerinden evcilleştirilmemiştir; tek bir ortak ata türden, yani kurttan son birkaç bin yıl (yüzlerce köpek kuşağı) içerisinde yapay seçilim yoluyla üretilmişlerdir. Köpek genlerinin DNA dizilişleri temelde kurtlardaki dizilişin bir altkümesidir, ama (fosillere bakıldığında atasının kurdun atasından bir mil-



15. A. Lahana çeşitliliğinden bazı örnekler.

B. İki köpek soyunun büyüklük ve biçimlerindeki fark.

yon yıl önce ayrıldığı düşünülen) kır kurtları köpeklerden ve kurtlardan, en farklı köpek/kurt karşılaştırmasına kıyasla yaklaşık üç kat farklıdır. Köpekler arasında aynı genin dizilişinde görülen farklılıklar, yani köpeğin kurttan ayrılmasından sonra geliştiği düşünülen farklılıklar, bu ayrılmanın ne zaman gerçekleştiğinin saptanmasında kullanılabilir (bkz. 3. Bölüm). Varılan sonuç köpeklerin kurtlardan arkeolojik kayıtların işaret ettiği 14,000 yıldan çok daha uzun bir zaman önce ayrıldığı, ama bu sürenin 135,000 yılı geçmediği yönündedir.

Yapay seçilimin başarılı olabilmesinin nedeni, popülasyonlar ve türler içerisinde kalıtımsal varyasyon (3. Bölüm'de anlatmış olduğumuz, normal bireyler arasındaki küçük farklılıklar) görülmesidir. İnsanlar kalıtımı hiç bilmeden bile hoşlandıkları ya da yararlı buldukları özelliklere sahip hayvan ve bitkiler yetiştirmişlerdir ve yeterli sayıda kuşağın ardından bu süreç birbirlerinden ve ilk başta ehlileştirildikleri atalarından büyük oranda farklı hayvan ve bitki türü soyları üretmiştir. Bu da ehlileştirilmiş türler içerisinde yer alan bireylerin birbirlerinden farklı olduklarını ve bu farklılıklardan pek çoğunun ebeveynden yavrularına geçebildiğini, yani kalıtımsal olduğunu açıkça göstermektedir. Farklılıklar yalnızca hayvanların ya da bitkilerin gördükleri muameleye bağlı olsaydı, seçici üretim ve yapay seçilim bir sonraki kuşak üzerinde hiçbir etki göstermezdi. Farklılıklardan bazıları kalıtımsal olmasaydı soy ancak gelişmiş bir hayvan ve bitki yetiştiriciliğiyle geliştirilebilirdi.

Akla gelebilecek her tür özellikte kalıtımsal varyasyon görülebilir. Bilindiği gibi, farklı köpek soylarının yalnızca görünüşleri ve büyüklükleri değil, karakter ve eğilim gibi

zihinsel özellikleri de farklıdır; bazıları dost canlısı olma eğilimindeyken bazıları azgın ve bekçi köpeği olmaya uygundur. Kokulara duydukları ilgi, bir şeyi alıp getirme ya da yüzme eğilimleri ve zekâları farklıdır. Hassas oldukları hastalıklar farklıdır; örneğin Dalmaçyalıların guta eğilimli oldukları gayet iyi bilinir. Yaşlanma süreçleri bile farklıdır; chihuahua gibi bazı soyların ömürleri şaşırtıcı derecede uzunken (ömürleri neredeyse kedilerinki kadar uzun olabilir) danua gibi bazılarıysa bunun ancak yarısı kadar yaşar. Bütün bu özellikler iyi bakım ve muamele gibi ortam şartlarından elbette etkilense de, kalıtımın güçlü bir etkisi bulunmaktadır.

Başka pek çok ehlileştirilmiş türde benzer kalıtımsal farklılıklar olduğu bilinmektedir. Bir başka örneğe bakarsak, farklı elma cinslerinin nitelikleri kalıtımsal farklılıklardır. Bunlar arasında örneğin erken ya da geç hasat, pişirilmeye ya da yenmeye uygunluk gibi farklı insan gereksinimlerine ve farklı ülkelerin iklimlerine uyarlanmalar yer alır. Tıpkı köpek örneğinde görüldüğü gibi, elmalar üzerinde insanın uyguladığı seçilimle aynı zamanda başka evrimsel süreçler de etkili olmuş ve arzulanan özelliklerin tümünde mükemmelliğe asla ulaşılamamıştır. Örneğin Cox özellikle lezzetli bir elmadır, ama hastalıklara karşı son derece zayıftır.

Kalıtımsal Varyasyon Türleri

Yapay seçilimin başarısı, hayvanlarda ve bitkilerde pek çok özellik farklılığının kalıtımsal olduğu yönünde son de-

rece güçlü bir kanıttır. Doğadaki pek çok farklı hayvan, bitki, mantar, bakteri ve virüs türü de dahil olmak üzere çok çeşitli organizmaların özelliklerinde kalıtımsal varyasyon olduğunu gösteren pek çok genetik çalışması da bulunmaktadır. Varyasyon, genlerin DNA dizilişlerindeki, insanlardaki genetik bozuklukları yaratan mutasyonlara çok benzer rasgele mutasyon süreçlerine dayanır (3. Bölüm). Örneğin insanlardaki ve çiftlik hayvanlarındaki genetik bozukluklar gibi çoğu mutasyon olasılıkla zararlıdır, ama zaman zaman avantajlı mutasyonlar da gerçekleşir. Bu tür mutasyonlar hayvanların hastalığa karşı direnç kazanmalarını sağlamıştır (örneğin tavşanlarda miksomatoz direncinin gelişmesi). Ayrıca günümüzdeki önemli bir sorundan da mutasyonlar sorumludur: zararlıların kimyasal maddelere karşı direnç geliştirmeleri (örneğin farelerin Warfarin'e ya da insanlarda ve çiftlik hayvanlarında asalak olarak yaşayan solucanların kimyasal maddelere karşı direnç geliştirmeleri, sivrisineklerde haşere ilaçlarına ve bakterilerde antibiyotiğe karşı direnç). İnsan ya da hayvan sağlığı açısından çok önemli olmaları nedeniyle bu örneklerin pek çoğu ayrıntılı olarak incelenip anlaşılmıştır.

İnsanlarda da kalıtımsal farklılıklar görüldüğü gayet iyi bilinmektedir. Daha önce de belirtmiş olduğumuz gibi varyasyon örneğin göz ve saç rengi gibi "gözle görülür" özellik farklılıkları olarak ortaya çıkabilir. Tek tek genlerdeki farklılıklar tarafından kontrol edilen varyantlardır bunlar ve çevre şartlarından etkilenmezler (ya da yalnızca küçük değişimler görülür; örneğin açık renk saçlı bir kişinin saçının güneşte açılması). Bu tür yaygın varyantlara *çokbiçimlilik* (*polimorfizm*) denir. Renk körlüğü gibi durumlar da basit

genetik farklılıklardır, ama insan popülasyonlarında daha ender görülen varyantlardır. Davranış özellikleri bile kalıtımsal olabilir. Ateş karıncası kolonilerinin tek ya da çok kraliçelerinin olması görünüşe bakılırsa, diğer bireylerin tanınmasıyla ilgili bir kimyasal maddeyi bağlayan bir proteini kodlayan tek bir gendeki bir farklılığın kontrolündedir.

Popülasyonlar içerisinde örneğin insanlar arasındaki boy ve kilo farklılıkları gibi pek çok özellikte de "sürekli" bir varyasyon görülmektedir. Bu tür varyasyonlar çevre şartlarından genellikle önemli derecede etkilenir. 20. yüzyılda pek çok ülkede kuşaktan kuşağa görülen boy uzaması genetik değişime değil, yaşam şartlarındaki daha iyi beslenme ve çocuklukta geçirilen ağır hastalıkların azalması gibi değişimlere bağlıdır. Yine de insan popülasyonlarında bu tür özellikler belli bir derecede genetik olarak belirlenmektedir. Tek yumurta ikizleriyle çift yumurta ikizleri üzerinde yapılan çalışmalardan bilinmektedir bu. Çift yumurta ikizleri aynı zamanda yaratılmış sıradan kardeşlerdir ve aralarındaki farklar herhangi iki kardeş arasındaki kadardır, ama tek yumurta ikizleri iki embriyona bölünmüş tek bir döllenmiş yumurtadan gelişir ve genetik olarak aynıdırlar. Tek yumurta ikizlerinde pek çok özellikte tek yumurta ikizi olmayanlara kıyasla daha fazla benzerlik belgelenmiştir ve bunun nedeni genetik benzerlikleri olmalıdır (tek yumurta ikizlerine tek yumurta ikizi olmayan çiftlere kıyasla daha benzer muamele gösterilmiş olmamasına dikkat edilmelidir elbette –örneğin, her iki tür ikizde de yalnızca aynı cinsiyetten olanlar incelenmelidir). Elbette genellikle görülen önemli çevre etkilerine rağmen bu ve başka kanıtlar, zekânın çeşitli yönleri de dahil olmak üzere pek çok özellikte

görülen varyasyonun belli bir kalıtımsal temeli olduğunu göstermektedir. Pek çok organizmada ve her tür özellik için kalıtımsal varyasyon belgelenmiştir. Bir hayvanın egemenlik hiyerarşisindeki yeri bile kalıtımsal olabilir; tavuklarda ve hamamböceklerinde bu durum kanıtlanmıştır. Sürekli genetik çeşitlilik miktarı, farklı derecelerden akrabalar arasındaki benzerlikler temel alınarak ölçülebilir. Hayvan ve ekin yetiştiriciliğinde bu çok önemlidir ve yetiştiricilerin farklı ebeveynlerin yavrularının taşıyacağı örneğin ineklerin süt verimi gibi özelliklerini önceden tahmin edebilmelerini ve yetiştirme süreçlerini buna göre planlayabilmelerini sağlar.

Genetik farklılıklar, DNA "harf"lerindeki farklılıklara dayanır. Bunlar proteinlerin aminoasit dizilişlerini genellikle değiştirmezler. Farklı bireylerde aynı genin DNA dizilişleri karşılaştırıldığında farklılıklara rastlanır, ama farklı türler arasında yapılan diziliş karşılaştırmalarına kıyasla sayıları daha azdır (bu tür karşılaştırmalar 3. Bölüm'de tartışılmıştı; bkz Şekil 3). Örneğin, 3. Bölüm'de bahsedilmiş olan glikoz-6-fosfat dehidrogenaz geninin kopyaları her birey kümesinden bir adet alınarak karşılaştırılabilir. Bu karşılaştırmada hiçbir farklılığa rastlanmayabilir (bu durumda çeşitlilik olmayacaktır). Popülasyon içerisindeki bazı bireylerin genin varyant bir dizilişini taşımaları durumunda karşılaştırmaların bazılarında farklılık görülecektir. Buna moleküler polimorfizm adı verilir. Genetikçiler bu tür çeşitlilikleri popülasyon içerisindeki bireyler arasında farklılık gösteren DNA dizilişi harfleri oranıyla ölçerler. İnsan türünde farklı insanlarda aynı genin dizilişi karşılaştırıldığında genellikle, DNA harflerinde % 0.1'den az

fark görülmektedir (bir insanla şempanzenin gen dizilişleri karşılaştırıldığındaysa genellikle harflerin yaklaşık % 1'inin farklı olduğu görülür). Varyasyon bazı genlerde daha fazla, bazılarında daha azdır ve bekleneceği gibi, genomun proteinler için kodlama yapmayan daha az önemli bölgelerinde, genlerin kodlama yapan bölümlerine kıyasla genellikle daha yüksektir. Diğer türlerin çoğuna kıyasla insanda çeşitliliğin daha az olduğu söylenebilir. Örneğin mısırda DNA polimorfizmi çok daha yaygındır (DNA harflerinin % 2'den fazlası değişkendir).

Bir tür içerisindeki çeşitlilik dağılımı yararlı bilgiler verebilir bize. Köpekler farklı özellikleri için ıslah edildiğinde geliştirilmiş özellikleri genellikle tekdüze olan soylar gelişir. Bunun nedeni, soylar arasındaki çiftleşmelerin kontrol edildiği ve "gen akışı"nın yasaklandığı katı soy yetiştirme kurallarıdır. Örneğin bir şeyi alıp getirme gibi, belli bir soyda istenen bir özellik yalnızca bu soyda geliştirilir ve ayrı soylar genellikle birbirlerinden farklılaşırlar. Soylar arasındaki bu tecrit doğal bir tecrit değildir ve farklı soylardan köpekler memnuniyetle birbirleriyle çiftleşip sağlıklı yavrular üretirler. Bu nedenle köpeklerdeki çeşitliliğin büyük bölümü soylar arasındadır. Pek çok doğal tür farklı, coğrafi olarak ayrılmış popülasyonlar halinde yaşar ve popülasyonlar arasında farklılıklar bulunduğundan, bir bütün olarak tür içerisindeki çeşitlilik tek bir popülasyon içerisindeki çeşitlilikten daha fazladır. Örneğin bazı kan grupları bazı insan ırklarında diğerlerine kıyasla daha yaygındır (bkz 6. Bölüm) ve başka pek çok genetik varyant için de aynı durum geçerlidir. Ama insanlarda ve doğadaki başka pek çok türde, köpek soyları örneğinin aksine, popü-

lasyonlar arasındaki farklılıklar popülasyon içerisindeki çeşitliliğe kıyasla daha azdır. Bunun nedeni insanların bir popülasyondan diğerine serbestçe geçebilmeleridir. Bu genetik sonuçların önemli etkilerinden biri insan ırklarının genomlarımızdaki genlerin küçük bir bölümüyle birbirlerinden ayrılması, genetik yapımızın büyük bölümünün tüm dünyada benzer bir varyant aralığı ve heterojenliği sergilemesidir. Günümüz dünyasında hareketliliğin artması popülasyonlar arasındaki farklılıkları hızla azaltmaktadır.

Doğal Seçilim ve Uygunluk

Doğal şartlar altında evrim kuramının temel fikirlerinden biri, bazı kalıtımsal özellik farklılıklarının hayatta kalmayı ve üremeyi etkilemesidir. Örneğin, tıpkı yarış atlarının (şampiyon atlardan ve akrabalarından üretilerek) hızları için seçilmesi gibi, üreyip türlerinin geleceklerine katkıda bulunan bireyler avcılar tarafından yenmeyenler arasından çıktığı için antiloplar da doğal yoldan hızları için seçilmişlerdir. Darwin'le Wallace doğal şartlara uyarlanmanın bu tür bir süreçle açıklanabileceğini görmüşlerdi. Bizim hayvanları ve bitkileri yapay seçilim yoluyla değiştirme yetimiz bu özelliğin kalıtımsal bir temeli olmasına dayanır. Kalıtımsal farklılıklar olması şartıyla yaban ortamındaki başarılı bireyler de genlerini (ve dolayısıyla genellikle iyi özelliklerini) yavrularına geçirirler ve bunlar da örneğin hız gibi uyarlanmış özelliklere sahip olurlar.

Kısa bir tanım getirebilmek ve genel terimlerle düşünülebilmesini sağlamak amacıyla *uygunluk* sözcüğü biyoloji

çalışmalarında sık sık, genel hayatta kalma ve üreme yetisi için, hangi özelliklerin söz konusu olduğunu belirtmeye gerek duymadan kullanılmaktadır (tıpkı "zekâ" sözcüğünü çeşitli farklı yetenekler için kullanmamız gibi). Organizmaların pek çok farklı yönü uygunluğa katkıda bulunur. Örneğin hız antilobun uygunluğunu etkileyen özelliklerden yalnızca biridir. Tetikte olma ve avcı türleri saptayabilme yetisi de aynı derecede önemlidir. Ama yalnızca hayatta kalmak yeterli değildir ve örneğin yavruların bakımı gibi üreme yetenekleri de hayvanlarda uygunluk açısından önemlidir; çiçekli bitkilerdeyse tozlaşmalarını sağlayan canlıları çekebilme yetisi uygunluk açısından kritik önem taşır. Bu nedenle uygunluk sözcüğü çok çeşitli farklı özellikler üzerinden işleyen seçilimi tanımlamakta kullanılabilir. "Zekâ" sözcüğünde olduğu gibi "uygunluk" teriminin genelliği de pek çok yanlış anlamaya ve tartışmaya yol açmıştır.

Bir organizmanın uygunluğu açısından hangi özelliklerin önemli olabileceğini anlamak için organizmanın biyolojisi ve içerisinde yaşadığı ortam hakkında pek çok şey bilinmesi gerekir. Bir türe yüksek bir uygunluk düzeyi kazandıran bir özellik başka bir türde aynı etkiyi göstermez. Örneğin avcı türlerden renk benzetme yoluyla kaçan kertenkele için hız uygunluk açısından önemli değildir. Bu kertenkele ağaçlarda yaşıyor ve ince dallara tutunuyorsa, tutunma yetisi hızlı koşma yetisinden daha fazla önem taşıyacak ve yüksek uygunluk düzeyiyle bağlantılı özellik uzun değil, kısa bacaklar olacaktır. Antiloplarda hız bir uyarlanma özelliğidir, ama avcı türler tarafından görülmemek için son derece hareketsiz kalabilmek de pek çok hayvanın yenmekten kurtulmak için başvurduğu alternatif bir yoldur.

Kimi hayvanlar avcılardan onları korkutup kaçırarak kurtulurlar; örneğin kimi kelebeklerin kanatlarında kuşları korkutmak için birdenbire sergileyebildikleri göz noktaları vardır. Bitkiler yerlerinden hareket edemezler elbette ve yenmekten kurtulmak için kötü tat ya da dikenli olmak gibi yollara başvururlar. Bütün bu farklı özellikler organizmaların hayatta kalma ve/veya üreme yetilerini ve dolayısıyla uygunluklarını geliştirebilmektedir.

Pek çok özellikte görülen genetik değişkenlikler ve çevresel farklılıklar göz önüne alındığında, doğal seçilim kaçınılmaz olarak işleyecek ve 2. Bölüm'de göstermiş olduğumuz gibi, popülasyonların ve türlerin genetik yapısı zamanla değişecektir. Ender görülen bir genetik varyantın popülasyon içerisinde çoğunluğa dönüşmesi kuşaklar boyu sürdüğünden değişimler genellikle yavaştır. Hayvan ve bitki yetiştiriciliğinde sık sık güçlü bir seçilim gerçekleşmesine (örneğin hastalıkların bir sürüyü ya da ekini büyük oranda yok etmesi) karşın bu değişimlerin gerçekleşmesi yıllar alır. Mısırın yaklaşık 10,000 yıl önce ehlileştirilmiş olduğu tahmin edilmektedir, ama günümüzün devasa mısır koçanları oldukça yeni bir gelişmedir. Evrimsel değişimlerin yıl terimleriyle yavaş olmasına karşın, fosil kayıtlarının zaman ölçeğinden bakıldığında doğal seçilimin hızlı değişimler yaratabildiği görülür. Avantajlı özellikler bir popülasyonda, son derece düşük bir sıklıkla başlayarak, birbirini izleyen coğrafi katmanlar arasındaki zamana (genellikle en azından binlerce yıl; bkz. 4. Bölüm) kıyasla daha kısa sürede yayılabilmektedir.

Bizim yaşamlarımızın zaman ölçeğine göre yavaş olması nedeniyle biz gerçekleştiğini pek sık görmesek de doğal

seçilim asla durmaz. İnsanlar bile hâlâ evrimleşmektedir. Örneğin diyetimiz atalarımızın diyetinden farklıdır ve dişlerimiz çok güçlü olmasalar da günümüzün yumuşak yiyecekleri üzerinde gayet etkili olabilmektedirler. Günümüzde pek çok yiyeceğin şeker içeriğinin yüksek olması diş çürümesine ve ölümcül olabilecek apselere yol açar, ama diş bakımı bu tür sorunları çözebildiği ya da takma dişler sunabildiği için güçlü diş konusunda fazla etkili bir doğal seçilim kalmamıştır. Yoğun olarak kullanılmayan diğer işlevlerde olduğu gibi bu konuda da değişimler yaşanması beklenebilir ve dişlerimizin günün birinde körelmesi mümkündür. Yakın akrabalarımız olan şempanzelerin dişlerine kıyasla bizim dişlerimiz şimdiden küçük ve daha da küçülmemeleri için hiçbir neden yok. Diyetimizdeki aşırı şeker oranı insan popülasyonlarında ileri yaşlarda başlayan diyabet sıklığını ve hastalar arasında ölüm oranlarını artırdı. Geçmişte bu hastalık büyük oranda, çocuk doğurma çağını geçmiş kişilerle kısıtlıydı, ama artık başlangıç yaşı giderek geriye geliyor. Dolayısıyla metabolizmamızın değişen diyetimize uyum sağlayabilecek şekilde değişmesi yönünde yeni ve olasılıkla yoğun bir seçilim baskısı var. 7. Bölüm'de insan yaşamındaki değişimlerin daha uzun ömür evrimine nasıl yol açtığını anlatacağız.

Uygunluk kavramı genellikle yanlış anlaşılır. Biyologlar bu terimin anlamlarını açıklamaya çalıştıklarında örneğin antilopların hızı gibi, uygunluk sözcüğünün günlük kullanımına denk gelen örnekler verirler. Kuşların ortaları boş olan ve güçlendirici çapraz destekleri bulunan hafif kemikleri gibi özellikleri düşündüğümüzde kafamızın karışması tehlikesi azalır (Şekil 14). Doğal seçilim kuramı, uçma yeti-

sinin geliştiği sıralarda hafif kemikli bireylerin hayatta kalma şanslarının diğerlerine kıyasla biraz daha yüksek olduğunu vurgulayarak, bu tür iyi tasarlanmış görünen yapılara açıklama getirir. Yavruların bu bireylerin hafif kemiklerini miras almaları durumunda kuşaklar boyunca bu özelliğin popülasyon içinde temsil edilme oranı yükselecektir. En hızlı köpekleri yetiştirenlerin uyguladıkları, tüm tazılara uzun ve ince bacaklar kazandırmış olan yapay seçilimle aynıdır bu. Uzun bacak mekanik açıdan kısa bacağa göre daha etkilidir ve tazıların bacakları antilopların ve diğer hızlı koşan hayvanların doğal seçilim yoluyla evrimleşmiş olan bacaklarına çok benzer. Uygunluk sözcüğünü kullanmadan da doğal ve yapay seçilimi gayet iyi tanımlayabiliriz. Doğal seçilim belli kalıtımsal varyantların sonraki kuşaklara daha öncelikli olarak geçirilebilmesinden başka bir şey ifade etmez. Hayatta kalma ya da üreme başarılarını düşüren genleri taşıyan bireyler bu genleri genel olarak, genleri daha fazla hayatta kalma ya da üreme yetisi kazandıran bireyler kadar aktaramazlar. Uygunluk terimi, özelliklerin bazen organizmaların hayatta kalma ve/veya üreme şanslarını etkileyebileceklerini belli bir özellik belirtmek zorunda kalmadan kısaca ifade etmek için kullanılan yararlı bir kısaltmadan başka bir şey değildir. Seçilimin bir popülasyonun genetik yapısını nasıl etkilediği konusunda matematiksel modeller kurulmasında da yararlı olmaktadır. Bu modellerden çıkarılan sonuçlar bu bölümde belirttiğimiz pek çok düşünceyi destekler, ama bunları burada anlatmayacağız.

Avantajlı bir mutasyonun seçilişini açıklamak için, insanlarla fareler arasındaki, bizim fare zehirleri geliştirmeye

çalıştığımız, farelerinse direnç geliştirdikleri silahlanma yarışını inceleyelim. Warfarin adlı fare zehri kanın pıhtılaşmasını engelleyerek fareleri öldürür. Bu zehir, kanın pıhtılaşmasında ve başka pek çok işlevde önem taşıyan K vitamininin özüştürülmesi için gerekli olan bir enzime bağlanır. K vitamini özüştürümleri değiştiği ve bu durum büyüme ve hayatta kalma yetilerini azalttığı için dirençli farelerin sayısı bir zamanlar çok azdı. Diğer bir deyişle, direncin bir *maliyeti* vardır. Ama Warfarin'in kullanıldığı çiftlik ve kentlerde ancak dirençli hayvanlar hayatta kalabildiğinden bu maliyete rağmen güçlü bir doğal seçilim gerçekleşir. Genin dirençli versiyonu, bu maliyet nedeniyle türün tüm üyelerine yayılamasa da, fare popülasyonunda daha fazla yayılır. Ama yakın zamanlı bir gelişmeyle bu maliyetin görülmediği ve hatta (zehir olmadığında) avantajlı olabilecek yeni bir tür direnç gelişmektedir. Dolayısıyla, farelerin ortamlarındaki değişime karşı verilen tepkide sürekli bir evrimleşme görülmektedir.

Değişkenlik ve seçilim yalnızca bireysel organizmaların değil, pek çok sistemin son derece genel özellikleridir. Genetik maddenin belli unsurları organizmaların uygunluğunu artırdıkları için değil, tıpkı konaklarının bedenlerindeki asalaklar gibi genetik maddenin içinde çoğalabildikleri için korunur. Doğal seçilimin organizma içinde evrimsel değişimi teşvik ettiği bir diğer önemli durum kanserlerde görülür. Bir hücrenin ve bundan üreyen hücrelerin bencilce bir davranış geliştirdikleri ve bedenin geri kalanının iyiliğini düşünmeden çoğaldıkları bir hastalıktır kanser. Hastalığa genellikle, diğer genlerin mutasyon hızlarını artıran bir mutasyon neden olur (örneğin, 3. Bölüm'de anlatılmış

olan, DNA dizilişlerini kontrol edip mutasyonları engelleyen düzelti sistemindeki bir bozukluk). Mutasyon sıklığı yüksekse bunlardan bazıları hücre çoğalma hızını etkileyebilir ve hızla çoğalan bir soy ortaya çıkabilir. Zamanla, giderek daha hızlı büyümeye yol açan mutasyonlar taşıyan hücrelerden giderek daha fazla hücre oluşur ve bu nedenle kanser çoğunlukla daha da saldırganlaşır. Kanser hücreleri büyümelerini bastıran ilaçlara karşı direnç de kazanabilirler. AIDS hastalarında gelişen ilaca dirençli HIV virüsleri örneğinde olduğu gibi, ilacın baskılamasından kurtulabilmelerini sağlayan mutasyonlar geçiren kanser hücrelerinin sayısı başlangıçtaki tipte hücrelerin sayısını aşabilir ve kanserde görülen gerilemenin kaybedilmesine neden olabilir. Gerilemenin durmasından sonra ilaç tedavisine yeniden başlamanın genellikle yararsız olmasının nedeni budur.

Diğer uca bakıldığında, farklı özellik kümelerini taşıyan türlerin soylarının tükenmesi hızları farklı olabilir, yani tür düzeyinde seçilim görülebilir. Örneğin, popülasyon büyüklüğünün ve üreme oranının genellikle düşük olduğu büyük boyutlu türler küçük bedenli türlere kıyasla soylarının tükenmesine daha açıktırlar (bkz 4. Bölüm). Aynı türün bireyleri arasındaki seçilim ise aksine, muhtemelen büyük bireylerin yiyecek ya da eş rekabetinde daha fazla başarılı olmaları nedeniyle, genellikle büyük boyutu kayıracaktır. Akraba türlerden oluşan bir grupta gördüğümüz beden boyutu aralığı her iki tür seçilimin net sonucunu yansıtabilir. Ama aynı tür içerisinde yer alan bireyler üzerindeki seçilim, büyüklük farklarının asıl nedeni olduğundan ve türler düzeyindeki seçilimden genellikle daha hızlı işlediğinden, muhtemelen en önemli etmendir.

Seçilim biyolojik olmayan bağlamlarda da önemlidir. Makine ve bilgisayar programları tasarımında arka arkaya küçük, rasgele değişiklikler yapmanın, işin iyi yapılmasını sağlayan versiyonların saklanmasının ve diğerlerinin atılmasının optimum tasarıma ulaşmanın son derece etkin bir yolu olduğu görülmüştür. Karmaşık sistemlerde zorlu tasarım sorunlarının çözülmesinde giderek daha sık kullanılan bir yöntemdir bu. Bu süreç sırasında mühendisin aklında belli bir tasarım değil, yalnızca arzulanan işlev vardır.

Uyarlanmalar ve Evrim Tarihi

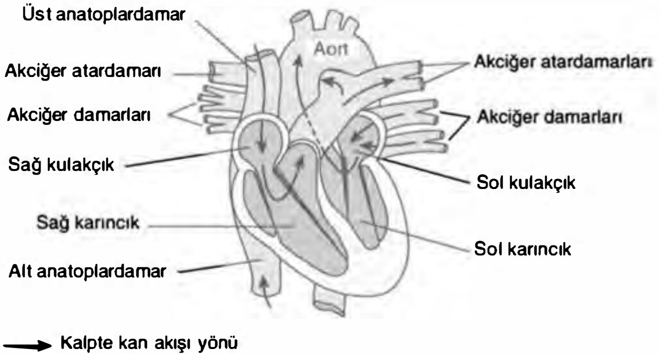
Doğal seçilim yoluyla evrim kuramı organizmaların özelliklerini, her biri hayatta kalma ya da üreme başarısını artıran değişimlerin arka arkaya birikmesinin sonucu olarak açıklar. Hangi değişimlerin mümkün olduğu organizmanın önceki durumuna bağlıdır: mutasyonlar bir hayvan ya da bitkinin gelişimini ancak, yetişkin organizmayı yaratan mevcut gelişme programlarıyla sınırlı belli kısıtlamalar içerisinde değiştirebilirler. Hayvan ve bitki yetiştiricilerinin uyguladıkları yapay seçilimin sonuçları, beden parçalarının büyüklük ve şekillerini değiştirmenin ya da çeşitli köpek soylarında olduğu gibi dış renk gibi yüzeysel özelliklerde çarpıcı değişiklikler gerçekleştirmenin görece kolay olduğunu göstermektedir. Mutasyonlar yoluyla köklü değişimler kolayca yaratılabilir ve laboratuar genetikçileri normal formlardan yabani türler arasındaki farklılıklara kıyasla çok daha farklı olan fare ya da meyve sineği soyları yaratmakta hiç güçlük çekmezler. Örneğin normaldeki gibi iki

yerine dört kanadı olan sinekler üretilmesi mümkündür. Ama bu tür büyük değişimler normal gelişime büyük zararlar vererek hayatta kalmayı ve üremeyi etkiler ve bu nedenle doğal seçilim tarafından kayırılmaları olası görünmemektedir. Hatta hayvan ve bitki yetiştiricileri bu tür değişimlerden genellikle kaçınırlar (gerçi bu tür mutasyonlar kullanılarak, hayvanın sağlığının çiftçiler örneğine kıyasla daha önemsiz olduğu alışılmadık domuz ve köpek soyları yaratılmıştır).

Bu nedenle evrimin genellikle, yepyeni bir duruma doğru atılan ani adımlar yerine daha önce gerçekleşmiş olan durumlara oldukça küçük uyarlanmalar yoluyla ilerlemesini bekleriz. 7. Bölüm'de daha ayrıntılı olarak tartışacağımız göz örneğinde olduğu gibi, pek çok farklı unsurun karşılıklı olarak uyarlanmasına bağlı karmaşık özelliklerde daha çok görülen bir durumdur bu; unsurlardan biri çok şiddetli bir değişimden geçmesi durumunda değişmeden kalmış olan diğer parçalarla birlikte iyi çalışamayabilir. Yeni uyarlanmalar geliştiğinde bunlar genellikle daha önceki yapıların değişmiş versiyonları olacak ve ilk başlarda optimum işlevsel mühendislik tasarımı çözümü olmayacaklardır. Doğal seçilim, bir makineyi yepyeni tasarımlar planlamak yerine çeşitli özellikleriyle oynayarak ve değiştirerek geliştiren bir mühendis gibidir. Günümüz tornavidaları farklı amaçlara uygun çeşitli başlıklarıyla hassasiyet isteyen işler için uygun olabilirler, ama vidaların evrimsel ataları bir uçlarındaki delikten sivri uçlu bir araçla döndürülen kaba tıkaçlardı.

Yaşayan organizmaların geçirdikleri uyarlanmaların hassasiyeti ve etkinliği bizi sık sık hayrete düşürse de, ancak

tarihsel kökenleri temelinde mantıklı görünen özelliklerinin ele verdiği pek çok özelliklerle oynama örneği de bulunmaktadır. Ressamlar meleklerin kanatlarını omuzlarına yerleştirir ve böylece kollarını kullanabilmeyi sürdürmelerini sağlarlar. Ama tüm gerçek uçan ya da süzülen omurgalı türlerinin kanatları değişmiş ön bacaklardır ve bu nedenle pterodactyluslar, kuşlar ve yarasalarda ön bacakların özgün işlevlerinin çoğu kaybedilmiştir. Aynı şekilde, memeli kalp ve dolaşımı tasarımının, başlangıçtaki işlevi kalpten gelen kanı balığın solungaçlarının etrafına ve ardından da bedenin geri kalanına pompalamak olan bir sistemden aşamalı olarak değişerek geliştiğini gösteren tuhaf özellikleri bulunmaktadır. Dolaşım sisteminin embriyo aşamasında geçirdiği gelişim evrimsel öncellerini ele vermektedir.



16. Memeli kalbinin son derece karmaşık yapısı ve kan damarları. Akciğere kan taşıyan akciğer atardamarının, kanı bedenin geri kalan kısmına taşıyan aortun ve baştan kalbin arka tarafına taşıyan üst anatoplardamarın arkasında geriye doğru tuhaf bir şekilde kıvrıldığını fark edeceksiniz.

Bir işlev sorununa getirilen benzer çözümler kimi zaman farklı gruplarda birbirinden bağımsız olarak gelişmiştir ve bu da kuşların ve yarasaların kanatları örneğinde görüldüğü gibi geçmişlerinin farklı olması nedeniyle aslında ayrıntılarda önemli farklılıklar içeren çok benzer uyarlanmalar geçirmeleri sonucunu verir. Dolayısıyla, farklı organizmalar arasındaki benzerlikler genellikle akraba olmalarına bağlı olsa da (örneğin bizler ve insansımaymunlar), benzer şartlar altında yaşayan uzaktan akraba organizmalar bazen birbirlerine yakın akrabalarına kıyasla daha fazla benzeyebilirler. Morfolojik benzerliklerin ve farklılıkların yanıltıcı olduğu durumlarda gerçek evrimsel ilişki 3. Bölüm'de de açıklandığı gibi DNA dizilişlerindeki benzerliklere ve farklılıklara dayanan kanıtlara başvurularak keşfedilebilir. Örneğin, dünyanın çeşitli yerlerinde büyük nehirlerde çeşitli nehir yunusu türleri evrimleşmiştir. Bu türlerde açık deniz türlerinden ayrılmalarını sağlayan ortak özellikler görülür; örneğin, bulanık sularda yaşamaları ve yollarını bulmakta görme duyusundan çok sese dayanmaları nedeniyle gözlerinin küçülmüş olması. DNA dizilişleri karşılaştırıldığında belli bir nehir yunusunun kendi bölgesinde yaşayan deniz türlerine başka yerlerdeki nehir yunuslarından daha fazla benzediği görülür. Benzer ortamların benzer uyarlanmalar yaratması mantıklı görünmektedir.

Aradaki bazı benzerliklere karşın, doğal seçilim insanların tasarım süreçlerinden çeşitli açılardan ayrılır. Bu farklardan biri evrimin öngörüsünün bulunmamasıdır; organizmalar bir dönemdeki baskın çevre şartlarına tepki olarak evrimleşirler ve bu da, şartlarda köklü bir değişim olduğunda soylarının tükenmesine yol açacak özelliklerin geliş-

mesine neden olabilir. Bu bölümün ilerleyen bölümlerinde de anlatacağımız gibi, erkekler arasındaki cinsel rekabet hayatta kalma yetilerini önemli derecede azaltacak yapıların gelişmesine neden olabilir; kimi örneklerde olumsuz bir çevre değişiminin hayatta kalma yetisini, çok iri boynuzları olan soyu tükenmiş İrlanda sığını örneği için öne sürüldüğü gibi, türün devam edemeyeceği derecede daha da azaltması gayet mümkündür. Her iki yılda bir tek bir yavru üreten kondorlar gibi büyük avcı kuşlar örneğinde görüldüğü gibi, uzun ömürlü organizmalarda genellikle son derece düşük doğurganlık gelişmiştir (bu konuyu 7. Bölüm'de de tartışacağız). Ortam uygun olduğunda bu tür popülasyonlar başarılı olabilir ve üreyebilen yetişkinlerde yıllık ölüm oranları düşüktür. Ama örneğin insan müdahalesi nedeniyle ortam şartları kötüleşip ölüm oranları arttığında nüfusta hızlı bir gerileme görülebilir. Şu anda pek çok türde bu durum görülmektedir ve bir zamanlar sayıları son derece yüksek olan türlerin bile soylarının tükenmesine yol açmıştır. Örneğin bir zamanlar sayıları on milyonlara ulaşan yavaş üreyen Amerikan göçmen güvercinlerinin avlanma sonucunda 19. yüzyılda soyları tükenmiştir. Son derece uzmanlaşmış bir habitatta yaşamak üzere evrimleşmiş türler de çevre değişimi sonucunda bu habitat ortadan kalktığında soylarının tükenmesi tehlikesiyle karşı karşıya kalırlar; örneğin Çin'de pandalar yavaş üredikleri ve yalnızca şu anda kesim yapılan belli dağlık bölgelerde görülen bir tip bambuya bağımlı oldukları için tehdit altındadırlar.

Doğal seçilimin mutlaka mükemmel bir uyarlanma üretmesi gerekmez. İlk olarak, bir biyolojik mekanizmanın

her yönünün en iyi işleyecek duruma uyarlanması için yeterli zaman olmayabilir. Seçilim baskısı örneğin konakla bir asalak arasında olduğu gibi iki tür arasındaki etkileşimin sonucu olduğunda bu durum özellikle olasıdır. Örneğin, konağın enfeksiyona karşı direncindeki bir gelişme asalak üzerinde direnci aşma yönündeki seçilim baskısını artırır, bu durumda konak yeni direnç yöntemleri geliştirmek zorunda kalır ve böylece "evrimsel silahlanma yarışı" başlamış olur. Bu durumda her iki partnerin de uzun zaman boyunca mükemmel bir uyarlanma içinde olması mümkün değildir. Bağışıklık sistemimizin bakteri ve virüs enfeksiyonlarına karşı savaşma yetisinin mükemmel düzeyde olmasına karşın, yeni gelişmiş grip ve soğuk algınlığı virüsleri soylarına karşı zayıflığımız sürer. İkinci olarak, seçilimin özelliklerle oynama yönü, biraz önce de bahsetmiş olduğumuz gibi, seçilimin ulaşabileceği başarılara kısıtlama getirir. Tasarım bakış açısından, omurgalıların gözlerinde ışığa duyarlı hücrelerden gelen bilgiyi taşıyan sinirlerin ışığa duyarlı retina hücrelerinin arkasında değil önünde olmasısaçma görünür, ama bu durum gözün bu bölümünün merkezi sinir sisteminin bir uzantısı olarak gelişmesinin bir sonucudur (ahtapot gözü memelilerin gözüne benzer, ama daha iyi bir düzenlemeye sahiptir; ışığa duyarlı hücreler sinirlerin önünde yer alır). Üçüncü olarak, bir sistemin işleyişinin bir yönündeki bir ilerleme, Warfarin'e karşı direnç konusunda da belirtildiği gibi, başka bir işlev açısından bir maliyet getirebilir. Bu da daha iyi bir uyarlanma oluşmasını engelleyebilir. Bu bölümün ilerleyen kısımlarında ve 7. Bölüm'de yaşlanma konusunu tartışırken başka örneklerden de söz edeceğiz.

Darwin'le Wallace doğal seçilimin uyarlanma evriminin nedeni olduğunu doğada görülen seçilim örneklerini bilmeden savunmuşlardı. Son 50 yıl içerisinde pek çok süregiden doğal seçilim örneği saptanıp ayrıntılı olarak incelenmiş ve evrimde oynadığı temel role dair kanıtlar son derece güçlenmiştir. Burada yalnızca birkaç örneğe yerimiz var. Günümüzde süren çok önemli bir doğal seçilim, bakterilerin antibiyotiklere karşı giderek daha fazla direnç kazanmasına yol açıyor. Yaşamlarımızı tehlikeye attığı, çok hızlı ve (ne yazık ki) tekrar tekrar gerçekleştiği için yoğun olarak incelenmiş bir evrimsel değişim örneği bu. Bu satırları yazdığımız gün gazete manşetlerinde Edinburg Kraliyet Hastanesi'nde görülen metisiline dirençli *Staphylococcus* yer alıyordu. Bir antibiyotik yaygın olarak kullanıldığında çok geçmeden dirençli bakteriler ortaya çıkar. Antibiyotikler yaygın olarak ilk kez 1940'larda kullanıldı ve çok geçmeden mikrobiyologlar direnç konusundaki kaygılarını dile getirmeye başladılar. 1955'te *American Journal of Medicine*'daki bir makalede antibiyotiklerin gelişigüzel kullanımı "dirençli soyların seçilmesi riskini doğuruyor," diyordu ve 1966'da (yani insanların bu konudaki tutumlarının henüz değişmediği bir dönemde) bir başka mikrobiyolog da şunları yazmıştı: "antibiyotik direncine saldırılabilmesi için yeterli genel kaygıyı yaratmanın hiç yolu yok mu?"

Bir hücreyi dirençli hale getirebilecek herhangi bir mutasyon bakterilerin hızlı çoğalmaları ve sayılarının yüksek olması nedeniyle bir popülasyondaki birkaç bakteride mutlaka görüleceğinden, antibiyotiğe karşı direncin hızla geliş-

mesi hiç şaşırtıcı değildir; bakterilerin mutasyonun hücre işlevlerinde yarattığı değişimi atlatıp çoğalabilmeleri durumunda direnç kazanmış bir popülasyon hızla oluşabilir. Farelerde görülen Warfarin direnci konusunda olduğu gibi direncin bakteriler için de maliyetli olacağı umulabilir, ama yine fareler örneğindeki gibi bunun uzun zaman geçerli olacağına güvenemeyiz. Bakteriler önünde sonunda, ciddi bir maliyetle karşılaşmadan antibiyotiklere rağmen hayatta kalabilecek şekilde evrimleşecekler. Bu nedenle yegâne şansımız antibiyotikleri ihtiyatlı kullanmak, kullanımlarını gerçekten gerekli oldukları durumlarla kısıtlamak ve enfeksiyona yol açan bakterilerin tümünün direnç geliştirecek zamanı bulamadan, çabucak ölmelerini sağlamak. Hâlâ bakteri varken tedavi kesildiğinde bu popülasyonda kaçınılmaz olarak direnç kazanmış bazı bakteriler de olacak ve bunlar başka insanlara yayılacaklardır. Antibiyotiğe karşı direnç bakteriler arasında, hatta farklı türden bakteriler arasında da yayılabilir. Enfeksiyonları azaltmak ve büyümelerini teşvik etmek amacıyla çiftlik hayvanlarına verilen antibiyotikler direncin insan patojenlerine yayılmasına neden olabilir. Sorun bunlarla da kısıtlı değil. Direnç mutasyonu geçirmiş olan bakteriler popülasyonlarının tipik örnekleri değildirler; kimi zaman mutasyon hızları ortalamanın üzerindedir ve bu da seçilime daha hızlı tepki vermelerine yol açabilir.

Asalakların ya da zararlıların öldürülmesinde her ilaç kullanıldığında ilaca ve haşere ilacına karşı direnç gelişir; mikroplarda, bitkilerde ve hayvanlarda yüzlerce örnek incelenmiştir. İlaç tedavisi gören AIDS hastalarında HIV virüsü bile mutasyon geçirerek direnç geliştirir ve bu yüzden

tedavi sonunda başarısız olur. Bunu önlemek için bir yerine iki ilaç kullanılır. Mutasyon ender görülen bir olay olduğundan bir hastadaki virüs popülasyonunun iki direnç mutasyonunu birden hızla geçirmesi pek olası değildir, ama genellikle sonunda bu da olur.

Bu örnekler doğal seçilimi açıklıyor, ama yapay seçilimde olduğu gibi bunlarda da ortamın insan müdahalesi sonucunda değiştiği durumlar söz konusudur. Başka pek çok insan faaliyeti organizmalarda evrimsel değişime neden olmaktadır. Örneğin, görünüşe bakılırsa, fillerin dişleri için öldürülmeleri dişsiz fil sıklığının artmasına yol açmıştır. Geçmişte bunlar ender, anormal hayvanlardı. Ama artık yoğun avcılık nedeniyle bunlar normal fillere kıyasla daha fazla hayatta kalıp üreyebiliyorlar ve sonuçta fil popülasyonu içerisindeki oranları yükseliyor. Parçalanmış doğal habitatlarda seçilim, küçük kanatları olan ve iyi uçamayan kuyruklu kelebekleri kayırıyor; bunun nedeninin uzaklara uçamayan bireylerin uygun habitat bölümlerinde kalmaları olasılığının yüksekliği olduğu düşünülüyor. Bahçelerdeki ya da ekin tarlalarındaki yabani otları ayıkladığımızda tohum üretiminin hızlı olduğu yıllık bir yaşam çevrimi de seçmiş oluyoruz. *Poa annua* adlı ot gibi türlerde daha yavaş gelişen ve iki yıl ya da daha fazla yaşayabilen bireyler vardır, ama yoğun bir yabani ot ayıklama uygulaması karşısında bunlar elbette dezavantajlı durumda kalırlar. Bu örnekler evrimsel değişimin ne kadar yaygın ve hızlı olduğunu göstermekle kalmayıp, bizim yaptığımız herhangi bir şeyin insanlarla bağlantılı türlerin evrimini etkileyebileceğini de gösteriyor. İnsanların tüm gezegene yayılması karşısında pek az tür etkilenmeden kalabilecektir.

Biyologlar tümüyle doğal olan, insanın habitatları bozması ya da değiştirmesiyle ilgisi bulunmayan pek çok seçilim örneğini de incelemişlerdir. Bu çalışmalar arasında en önemlilerinden biri, Peter ve Rosemary Grant'in Darwin ispinozlarından iki tür üzerinde 30 yıl boyunca sürdürdükleri çalışmadır: Galapagos adalarından Daphne adasındaki kaktüs ispinozu ve yer ispinozu (bkz 4. Bölüm). Bu iki türün ortalama gaga büyüklükleri ve şekilleri birbirinden farklıdır, ama türlerin kendi içlerinde de bu iki özellikte önemli bir varyasyon görülmektedir. Çalışma sırasında Grantler'in ekibi adada yumurtadan çıkan her kuşu işaretleyip ölçtü ve her bir dişinin yavrularını saptadı. Bu kuşların hayatta kalma oranları izlenerek beden parçalarının büyüklük ve şekilleriyle ilişkilendirildi. Soy çalışmaları gaga özelliklerindeki varyasyonun genetik unsurlardan etkilendiğini ve yavruların ebeveynlerine benzediklerini gösterdi. Yaban ortamındaki kuşların beslenme davranışları üzerinde yapılan araştırmalar gaga büyüklüğü ve şeklinin kuşların farklı tiplerde tohumlarla başa çıkmada gösterdikleri başarıyı etkilediğini göstermektedir: geniş, derin gagalar kuşların büyük tohumlarla küçük, dar gagalara kıyasla daha iyi başa çıkmalarını sağlar, küçük tohumlar içinse bunun aksi geçerlidir. Galapagos adaları El Nino olgusuyla bağlantılı ağır kuraklık dönemlerine maruz kalmaktadır ve bu kuraklıklar farklı tiplerde yiyeceklerin bolluk oranlarını etkiler. Kuraklık görülen yıllarda, çok büyük tohumlar üreten bir tür hariç çoğu bitki tohum üretemez. Bu da nüfus sayımlarından doğrudan gördüğümüz gibi, büyük ve derin gagaları olan kuşların hayatta kalma şanslarının diğerlerine kıyasla daha fazla olması anlamına gelir: bir kuraklığın ardından

her iki türde de hayatta kalan yetişkinlerin gagaları kuraklık öncesi popülasyona kıyasla daha büyük ve derindi. Ayrıca, yavruları bu özellikleri miras almışlardı ve bu nedenle kuraklığın seçilimin yönünde yarattığı değişim popülasyon bileşiminde genetik değişim yarattı –gerçek bir evrimsel değişimdi bu. Bu değişimin boyutu, ebeveynlerle yavrular arasındaki benzerlik derecesi göz önüne alındığında ölüm oranları ve gaga özellikleri arasında gözlenen ilişkiye dayanılarak öngörülen değişim boyutuyla uyuşuyordu. Normal şartlara dönüldüğündeyse gaga özellikleriyle hayatta kalma arasındaki ilişki değişti; geniş, derin gagalar artık kayırılmıyordu ve popülasyonlar eski duruma doğru evrimleştiler. Ama kuraklıkolmayan yıllarda bile çevre şartlarında küçük değişimler görüldü; bu değişimlerin uygunlukla gaga özellikleri arasındaki ilişkide değişimler yaratması nedeniyle 30 yılın tamamı boyunca gaga özelliklerinde sürekli dalgalanma görüldü ve her iki türde de popülasyonlar sonunda, başlangıçtakinden önemli derecede farklı hale geldiler.

Bir diğer örnek de çiçeklerin böceklere ya da tozlaşmalarını sağlayan başka hayvanlara uyarlanma şekilleridir. Bir bitkinin kendi türünden başka bitkilerle eşleşebilmesi için, tozlaşmasını sağlayacak canlının bitkinin çiçeklerini ziyaret etmeye çekilmesi ve (nektarla ya da yiyebilecekleri fazladan polenle) bunun için ödüllendirilerek aynı türden diğer bitkileri de ziyaret etmesinin sağlanması gerekir. Bu etkileşimde hem bitkiler hem de hayvanlar kendileri için en iyi olanı alabilecek şekilde evrimleşirler. Örneğin bir orkide için tozlaşmasını sağlayan güvenin çiçeklerin derinliklerine ulaşması çok önemlidir; böylece (polinyum denen) polen kütlesi güvenin başına yapışacaktır. Böylece

polinyum güvenin bir sonra ziyaret edeceği çiçeğin doğru parçasıyla yeterince temas edebilir ve polen çiçeği dölleyebilir. Nektarı güvenin neredeyse ulaşamayacağı bir yerde tutma gereksinimi nektar borusu uzunluğunda doğal seçilimi teşvik eder ve bu nedenle nektar borusu uzunlukları farklı olan çiçeklerde üreme daha düşük olmalıdır. Kısa borulu çiçeklerde güveler nektarı polinyumu almadan ya da bırakmadan emebilecekler ve boruları çok uzun olan çiçekler de tıpkı kamışları meyve suyunun tamamının dışarı çıkmasına izin vermeyecek kadar kısa olan meyve suyu kutuları gibi nektarlarını boşuna harcamış olacaklardır. Meyve suyu kutusu endüstrisinde meyve suyunun atılması daha fazla satış yapabilmelerini sağlayarak satıcılara kâr getirir, ama bitkiler yararsız nektar ürettiklerinde daha iyi şekilde kullanabilecekleri enerjiyi, suyu ve gıdaları kaybetmiş olurlar.

Bitki başına yalnızca bir çiçek üreten Güney Afrikalı bir *Gladiolus* türünde uzun borulu bireyler ortalama borulu bitkilere kıyasla daha sık meyve ürettiler ve meyve başına düşen tohum sayısı ortalamanın üstünde oldu. Bu türün boruları ortalama 9.3 cm uzunluğunda ve ziyaretçileri olan atmaca güvelerinin dilleri 3.5 ila 13 cm arasındadır. Dillerinde hiç polen olmayan güvelerin tümünün en uzun dilli bireyler olduğu görüldü. Aynı yerde yaşayan ve bu türlerin tozlaşmalarını sağlamayan diğer atmaca güvesi türlerinin dilleri ortalama olarak 4.5 cm'nin altındadır. Bu da seçilim gücünün çiçeklerle güveleri birbirlerine uyarlanmaya zorladığını ve kimi zaman aşırı durumlara ulaşılmasına yol açtığını gösterir. Kimi Madagaskar orkidelerinin çiçeklerinin nektar bezleri 30 cm uzunluğunda ve tozlaşmalarını sağla-

yan türlerin dilleri 25 cm'dir. Bu türlerde nektar borularının bağlanarak kısaltıldığı ve böylece güvelerin polinyum alma başarısının düşürüldüğü deneyler, uzunluk üzerinde etkiyen seçilimi kanıtlamıştır.

Benzer bir seçilim ve karşı-seçilim bizim türümüzün asalaklarla ilişkisini etkilemektedir. İnsanlarda sıtmaya karşı gelişmiş birbirlerinden farklı uyarlanmalar incelenmiştir ve sıtma asalaklarının karmaşık yaşam çevrimlerinin bir kısmını geçirdikleri alyuvar hücrelerimizdeki değişimler de dahil olmak üzere bazı farklı savunma yolları geliştirdiğimiz açıktır. Farelerdeki Warfarin direnci gibi, savunma yollarının bazen bir maliyeti olabilir. Tıbbi tedavi görülmediğinde genellikle ölümcül olan orak hücreli anemi adlı hastalıkta değişmiş bir hemoglobin (oksijenin vücutta taşınmasından sorumlu başlıca alyuvar hücresi proteini) söz konusudur. Değişmiş form (hemoglobin S) yaygın yetişkin hemoglobinini (hemoglobin A) kodlayan genin varyant bir formudur ve iki versiyondaki farklılık tek bir DNA harfidir. Bu proteini kodlayan genlerin ikisinin de S tipi olduğu kişilerde orak hücreli anemi görülür; alyuvar hücreleri bozulur ve ince damarları tıkar. Bir normal hemoglobin A'nın ve bir de genin S versiyonunun bulunduğu kişiler etkilenmezler, ama iki hemoglobin A geninin bulunduğu kişilere kıyasla sıtmaya daha dirençlidirler. Dolayısıyla, iki S genli kişilerin yakalandığı hastalık sıtmaya karşı direncin maliyetidir ve sıtma enfeksiyonu düzeyinin yüksek olduğu yerlerde bile S formunun popülasyon içerisinde yayılmasını engeller. Yine sıtmaya karşı korunma sağlayan enzim glikoz-6-fosfat dehidrogenazın varyantları (bkz 3. Bölüm) da bir maliyet getirir; bu varyantı taşıyan kişiler belli gıda ya

da ilaçları aldıklarında alyuvar hücreleri zarar görür, enzimin dirençli olmayan versiyonuysa bunu engeller. Ama sıtmaya karşı hiçbir bedel ödemeden ya da çok az bedelle koruma sağlanması da mümkün görünmektedir. Bir diğer alyuvar hücresi özelliği olan kan tipi Duffy- Afrika'nın büyük bölümünde yaygın olarak görülür ve bu gruptan kişiler belli bir sıtma tipine karşı Duffy+ tipini taşıyan kişilere kıyasla daha dirençlidirler.

Sıtmaya karşı direnç bildik bir bulguyu örnekler: tek bir seçilim baskısına –bu örnekte bir hastalık– karşı farklı tepkiler oluşabilmektedir. Sıtmanın yarattığı soruna getirilen çözümlerden bazıları insanlara getirdikleri maliyetlerin daha düşük olması nedeniyle diğerlerinden daha iyidir. Farklı insan popülasyonlarında sıtmaya karşı direnç kazandıran başka pek çok genetik varyant görülmektedir ve belli bir yerde seçilim sonucunda hangi mutasyon tipinin yerleşeceği büyük oranda şansa bağlıdır.

Biraz önce tartışılan örnekler hayvanların, insanların ve bitkilerin ortamlarındaki değişimlere karşı verilen seçilim tepkilerini örneklemektedir. Belki bir hastalık ortaya çıkar ve bir popülasyonda dirençli bireylerin gelişmesini sağlayacak bir seçilim görülür. Ya da belki bir güve çiçeklerden polene dokunmadan nektar alabilmesini sağlayacak daha uzun bir dil geliştirir ve sonuçta çiçek de daha uzun nektar bezleri geliştirir. Bu örneklerde doğal seçilim, Darwin'in 2. Bölüm'de yer vermiş olduğumuz 1858 tarihli alıntıda öngördüğü gibi, organizmaları değiştirir. Ama doğal seçilimin sık sık değişimleri engellediği de görülür. 3. Bölüm'de proteinlerle enzimlerin hücre mekanizmalarını anlattığımızda mutasyonların oluşabileceğinden ve bu işlev-

lere zarar verebileceğinden bahsetmiştik. Sabit bir ortamda bile seçilim her kuşakta mutant genlere karşı savaşır. Mutasyon geçirmiş yeni bireyler her kuşakta görülür, ama mutant olmayanlar genellikle daha fazla yavru bırakırlar ve böylece onların genleri yaygınlıklarını korurken mutasyon geçirmiş versiyonların popülasyon içerisindeki oranı düşük kalır. Her şeyin mümkün olduğunca iyi işlemesini sağlayan *dengeleyici* ya da *saflaştırıcı* seçilimdir bu. Buna verilebilecek örneklerden biri, kan pıhtılaşmasıyla ilgili proteinlerden biri için kodlama yapan bir gendir. Protein dizilişindeki bazı değişimler bir kesiğin ardından kanın pıhtılaşamaması sonucunu verir (hemofili). Yakın zamanlarda hemofilinin nedenleri anlaşılıp hastalara pıhtılaştırıcı proteinler enjekte edilerek yardım edilebilmeye başlanana dek bu durum ölümcül olabiliyor ya da hayatta kalma şansını ciddi derecede azaltabiliyordu. Tıp genetikçileri bu tür zararlı etkileri olan ve akla gelebilecek her tür özelliği etkileyebilen binlerce düşük sıklıklı genetik varyant saptamışlardır.

Ortamın oldukça sabit kalması ve böylece geçmişte seçilimin bir özelliği yüksek uygunluk kazandıracak bir duruma uyarlayacak zamanı bulmuş olması durumunda dengeleyici seçilim oluşur. Günümüzde de organizmaların değişken karakterlerini etkilediği saptanabilmektedir. İyi incelenmiş örneklerden biri insanda doğumdaki ağırlıktır. Pek az bebeğin öldüğü günümüzde bile ortalama ağırlıklarda bebeklerin daha fazla hayatta kaldıkları görülmektedir. Bebek ölüm oranlarındaki düşüklük büyük oranda küçük bebeklerle ve bazı çok büyük bebeklerle ilgilidir. Kuşlar ve böcekler gibi hayvan türlerinde de sert fırtınalardan sonra dengeleyici seçilim gözlenmiştir; hayatta kalan birey-

lerin genellikle ortalama boyutta oldukları görülür, en küçük ve en büyük bireylerse genellikle kaybedilir. Optimumdan küçük bir sapma bile hayatta kalmayı ya da üremeyi etkileyebilir. Dolayısıyla, organizmaların ortamlarına genellikle etkileyici bir düzeyde uyarlanmış olmaları mantıklıdır. 3. Bölüm'de de açıklamış olduğumuz gibi, kimi zaman en küçük ayrıntı bile önemli görünmektedir. Mükemmele yakın duruma genellikle ulaşılır; örneğin, renk benzetebilen kelebeklerin yapraklara ya da tırtılların ince dallara olağanüstü derecede benzemeleri. Dengeleyici seçilim türlerde genellikle pek az evrimsel değişim görülmesini de mantıklı göstermektedir; ortamları yeni mücadele kaynakları sunmadıkça seçilim her şeyi olduğu gibi koruma eğiliminde olacaktır. Günümüzdeki üyeleri uzak akrabaları olan fosillere benzeyen *yaşayan fosiller* örneğinde görüldüğü gibi, bazı organizmaların morfolojilerinin evrimsel olarak uzun zamanlar boyunca istikrarlı kalması bu sayede anlaşılabilmektedir.

Cinsel Seçilim

Doğal seçilim, uyarlanmanın ampirik sınavlara dayanabilmiş tek açıklamasıdır. Ama seçilimin genel hayatta kalma oranını ya da popülasyonun bir bütün olarak ürettiği yavru sayısını artırması şart değildir. Rekabetin olduğu durumlarda kısıtlı bir kaynak için verilen rekabette başarı kazandıran özellikler herkesin hayatta kalma şansını azaltabilir. Popülasyon içerisinde en başarılı tipte bireylerin yaygınlık kazanması popülasyonun hayatta kalma olasılı-

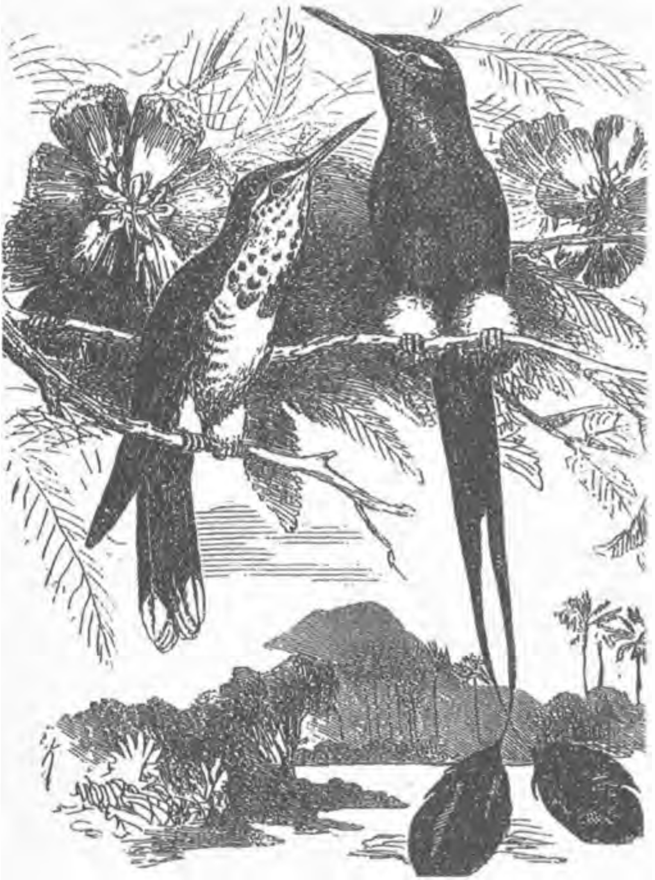
ğını düşürebilir. Rekabetin kötü uyarlanmalara yol açan sonuçlarına dair örnekler biyolojik durumlarla kısıtlı değildir. Reklamcılığın aşırı müdahaleciliği ve ağızda sık sık kötü bir tat bıraktığı bilinen bir durumdur.

Rekabet konusunda en iyi bilinen biyolojik örneklerden biri, erkeklerin eş bulma yetilerini etkileyen seçilimdir. Pek çok hayvan türünde üreyebilen erkeklerin tümü değil, yalnızca kur yapmada ve/veya diğer erkeklerle rekabette başarılı olan erkekler yavru bırakırlar. Dişiler bazen yalnızca "baskın" erkekleri kabul ederler. Meyve sineği erkeklerinin bile çiftleşmelerine izin verilmeden önce dişilere –danslarla (kanatlarını çırparak ürettikleri) şarkılarla ve kokularla– kur yapmaları gerekir. Başarı garanti değildir (dişilerin seçici olmaları ve yanlış türden erkekleri kabul etmekten kaçınmaları gerektiğinden, bu durum hiç şaşırtıcı değildir). Örneğin aslan gibi pek çok memeli türünde eş bulma yetisi için toplumsal hiyerarşiler vardır ve dişiler seçicidir, bu nedenle erkeklerin üreme başarıları arasında farklılık görülür. Dolayısıyla doğal seçilim erkeklerin hiyerarşi içerisindeki baskınlıklarıyla ya da dişilere çekici gelmeleriyle ilgili özellikleri kayıracaktır. Erkek geyiklerin diğer erkeklerle kavgalarında kullandıkları büyük boynuzları vardır ve bazı türlerde örneğin yüksek sesle kükreme gibi başka yıldırma yöntemleri gözlenir. Bu özellikler kalıtımsalsa (ki daha önce de görmüş olduğumuz gibi genellikle kalıtımsaldır), kendilerine çiftleştirmede başarı kazandıran özelliklere sahip olan erkekler genlerini daha fazla yavruya geçirecek, diğer erkeklerinse genellikle daha az yavrusu olacaktır.

Cinsel seçilim her iki cinsiyette de bazı özelliklerin gelişmesini sağlayabilir ve pek çok kuş türünde parlak tüylerin

görülmesinin nedeni olasılıkla budur. Ama çoğu türde bu özellikler erkeklerle kısıtlıdır (Şekil 17) ve bu da türlerin ortamlarına iyi uyarlanmalar olmadıklarına işaret eder. Bu tür pek çok erkek özelliğinin hayatta kalma oranını artırması olası görünmemektedir ve bu özelliklerin görüldüğü erkeklerde hayatta kalma oranının düştüğü göz önüne alındığında genellikle bir maliyet getirdikleri anlaşılmaktadır. Çok büyük ve güzel kuyrukları olan tavus kuşu erkekleri iyi uçamazlar; oysa kuyrukları daha küçük olsaydı büyük olasılıkla avcılarından kaçmakta daha başarılı olabilirlerdi. Uçuş aerodinamiğiyle ilgili deneysel çalışmalar için tavus kuşu iyi bir örnek değildir, ama kırlangıçların kuyruklarının uçuş için gereken optimum uzunluktan daha uzun olduğu gösterilmiştir ve dişiler uzun kuyruklu erkekleri tercih etmektedirler. Bu kadar göze çarpıcı olmayan erkek kur özellikleri bile genellikle riski artırır. Örneğin bazı tropik kurbağa türleri kur şarkılarını söyleyen erkekleri saptayan yarasalarca avlanır. Bu tür tehlikeler olmasa bile kur yapan erkekler genellikle, örneğin yiyecek aramak gibi başka işlere yöneltebilecekleri çok fazla çaba harcarlar ve çiftleşme mevsiminin sonunda fiziksel açıdan aşırı derecede kötü durumda oldukları görülür.

Bu durumu fark eden Darwin kur yapma bağlamındaki seçilimi diğer çoğu durumdan farklı olarak değerlendirdi ve bu farkı vurgulamak amacıyla cinsel seçilim terimini kullandı. Biraz önce de tartışmış olduğumuz gibi, hem tahmini nedenlerden (bu tür kuyruklar uçan bir hayvan için iyi bir tasarım gibi görünmemektedir) ötürü hem de gerçekten iyi bir özellik olsaydı dişilerde de görüleceği düşünüldüğünde erkek tavus kuşu kuyruklarının iyi uyarlanma ör-



17. Darwin'in *İnsanın Türeyişi ve Cinsel Seçilim*'de gösterdiği gibi, cinsel seçilimin sonucu. Aynı cennetkuşu türünün dişisinin ve erkeğinin gösterildiği resimde erkeğin süslemeleri ve dişinin gösterişli olmadığı göze çarpıyor.

nekleri olmaları mümkün görünmemektedir. Dolayısıyla seçilim, çiftleşmede rekabetin önemli olduğu bir tür olan tavus kuşunda erkeğin çiftleşme başarısının artması karşılığında uçma yeteneğindeki azalmayı göze almış görünmektedir. Cinsel seçilim örneği, biyolojide kullanıldığı şekliyle uygunluk sözcüğünün genellikle, sözcüğün günlük kullanımından farklı bir anlama geldiğini bir kez daha göstermektedir. Kuyruğu kendisine engel oluşturan bir tavus kuşu erkeği iyi bir uçucu ya da koşucu olma anlamında "uygun" değildir (gerçi iyi beslenmez ve sağlıklı olmazsa iyi bir kuyruk üretemeyebilir), ama evrim biyolojisi kısaltmasında uygunluk düzeyi yüksektir; büyük kuyruğu olmasaydı dişiler başka erkeklerle çiftleşirler ve onun üreme oranı düşük kalırdı.

VI. Bölüm

TÜRLERİN OLUŞUMU VE FARKLILAŞMALARI

Biyolojide en bildik olgulardan biri, canlıların ayırt edilebilir farklı türlere bölünmesidir. Örneğin bir kuzeybatı Avrupa kentinde yaşayan kuşlarla ilgili en rasgele bir gözlem bile pek çok türün varlığına işaret eder: kızılgerdan, kara bakal, ardıçkuşu, öksaardıcı, baştankara, güvercin, serçe, ispinoz, sığırcık vb. Her türün kendine özgü beden büyüklüğü ve şekli, tüy rengi, şakıması, beslenme ve yuva yapma alışkanlıkları vardır. Kuzey Amerika'nın doğu kısımlarında da farklı ama genel anlamda benzer bir kuş türü aralığına rastlanabilir. Her türün dişi ve erkekleri yalnızca birbirleriyle çiftleşirler ve yavruları da elbette ebeveynleriyle aynı türe aittir. Belli bir coğrafi bölge içerisinde, eşeyli olarak üreyen hayvan ve bitkiler neredeyse her zaman kolayca ayrı gruplara bölünebilir (gerçi dikkatli bir gözlem aralarında pek az anatomik farklılıklar olan türlerin varlığını gözler önüne serebilir). Aynı bölgede yaşayan farklı

türler birbirleriyle melezleşemedikleri için birbirlerinden ayrı kalırlar. Çoğu biyolog bu melezleşememe durumunu (*üremede yalıtım*) türlerin tanımlanmasında en iyi kriter olarak görür. Örneğin pek çok mikrop çeşidi gibi, düzenli olarak eşeyli yoldan üremeyen organizmalar söz konusu olduğundaysa durum daha karmaşıktır; bu konuyu daha sonra tartışacağız.

Türler Arasındaki Farklılıkların Yapısı

Yerçekimi kuvveti gibi canlı organizmaların ayrı türlere bölünmesinin de kesin gözüyle baktığımız bilindik bir olgu olmasına karşın, bu bölünmenin olması aslında şart değildir. Bu tür şiddetli farklılıkların olmadığı bir dünya düşünmek hiç de zor değil; yukarıdaki kuş örneğinde diyelim ki kızılgerdanlarla ardıçların özelliklerini farklı oranlarda birleştiren ve belli bir çift ebeveyn arasındaki çiftleşmenin son derece farklı özellik bileşimleri taşıyan yavrular üreteceği canlılar olabilirdi. Farklı türlerin üyeleri arasında melezleşmenin önünde bir engel bulunmasa dünyada gördüğümüz çeşitlilik olamazdı. Aslında, eskiden ayrı olan türler arasındaki melezleşmenin önündeki engeller şu ya da bu nedenden ötürü ortadan kalktığında gerçekten de böylesine değişken yavrular üretilebilmektedir.

Dolayısıyla evrimcilerin önündeki temel sorunlardan biri türlerin neden ayrıldığını ve üremede yalıtımın nedenini açıklamaktır. Bu konuya girmeden önce yakın akraba türlerin melezleşmelerinin önündeki engellerden bazılarını anlatacağız. Kimi zaman başlıca engel habitatlarındaki

ya da türlerin üreme dönemlerindeki basit bir farklılıktır. Örneğin bitkilerde genellikle her yıl karakteristik bir kısa çiçeklenme dönemi görülür ve çiçeklenme dönemleri çakışmayan türler elbette melezleşemezler. Hayvanlarda farklı üreme alanlarının kullanılması farklı türlerden bireylerin çiftleşmelerini engelleyebilir. Organizmaların ancak türün doğal tarihinin ayrıntılı olarak incelenmesi sonucunda keşfedilebilecek gözlenmesi zor özellikleri farklı türlerden bireylerin birbirleriyle başarıyla çiftleşmelerini aynı zamanda aynı yerde bir araya gelmeleri durumunda bile engelleyebilir. Örneğin, doğru kokuyu ya da sesi üretmedikleri veya kur yöntemleri farklı olduğu için başka türden bireylere kur yapma isteği doğmayabilir. Eşleşmenin önündeki davranışsal engeller pek çok hayvanda açıkça görülür ve bitkilerde de yanlış türden gelen polenlerin saptanmasını ve reddedilmesini sağlayan kimyasal yöntemler gelişmiştir. Eşleşme gerçekleşse bile yanlış türden gelen sperm dişinin yumurtalarını dölleyemeyebilir.

Ama kimi türler arasında, özellikle de kendi türlerinin bir üyesini bulamamaları durumunda arada bir eşleşebilmelerini sağlamaya yetecek düzeyde akrabalık bulunmaktadır (örneğin, 5. Bölüm'de de bahsedildiği gibi köpekler, kır kurtları ve çakallar). Ama bu tür durumların pek çoğunda ilk kuşak melezler genellikle gelişemezler; farklı türlere ait bireyler arasında yapılan deneysel çiftleştirmeler sık sık, gelişimin erken bir safhasında ölen melezler üretir, oysa aynı türden bireylerin arasındaki çiftleşmelerden oluşan yavruların çoğu yetişkinliğe ulaşabilmektedir. Kimi zaman melez bireyler hayatta kalabilir, ama bu sıklık melez olmayanlara göre çok daha düşüktür. Melezler hayatta kalsalar

bile genellikle kısırdırlar ve genlerini gelecek kuşaklara geçirecek yavrular üretemezler; (eşeklerle atlar arasındaki çiftleştirme sonucunda üretilen melezler olan) katır bu duruma ünlü bir örnektir. Melezlerin hayatta kalamaması ya da kısır olması elbette iki türü birbirinden ayırır.

Melezleşmenin Önündeki Engellerin Gelişmesi

Melezleşmeyi engellemenin bu farklı yöntemleri tanıdık olsa da, nasıl gelişmiş olduklarını anlamak hiç kolay değildir. Türlerin kökenini anlamanın anahtarı budur. Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nin 9. Bölüm'ünde vurguladığı gibi, türler arası melezlerin hayatta kalamamalarının ya da kısırlıklarının doğal seçilimin doğrudan ürünü olması olası görünmemektedir; bir bireyin farklı bir türle melezleşmesi durumunda hayatta kalamayacak ya da kısır yavrular üretmesinin hiçbir avantajı olamaz. Melez yavru hayatta kalamayacak ya da kısır olacaksa başka türlerin üyeleriyle çiftleşmekten kaçınmak avantajlı olacaktır elbette, ama melezlerin gayet iyi hayatta kalabildikleri durumlarda nasıl bir avantaj olabileceğini anlamak güçtür. Dolayısıyla, türler arasındaki melezleşmenin önündeki engellerin çoğunun, popülasyonların coğrafi ya da ekolojik olarak birbirlerinden ayrılmaları nedeniyle yalıtılmalarının ardından yaşanan evrimsel değişimlerin yan ürünleri olması mümkün görünmektedir.

Örneğin, Darwin ispinozunun bir türünün Galapagos adalarından birinde yaşadığını düşünün. Az sayıda bireyin

daha önce bu türün yaşamadığı başka bir adaya uçmayı ve yeni bir popülasyon kurmayı başardığını varsayın. Bu tür göç olaylarının ender olarak kalması durumunda yeni ve ata popülasyonlar birbirlerinden bağımsız olarak evrimleşeceklerdir. Mutasyon, doğal seçilim ve genetik sürüklenme süreçleri sonucunda iki popülasyonun genetik bileşimleri farklılaşacaktır. Bu değişimleri popülasyonların yaşadıkları ve uyarlandıkları ortamlardaki farklılıklar teşvik edecektir. Örneğin, tohum yiyen bir kuş türünün ulaşabileceği yiyecek bitkileri adadan adaya değişir ve farklı adalara bakıldığında aynı ispinoz türünden kuşların bile gaga büyüklüklerinin yiyecek bolluğundaki farklılıkları yansıtacak şekilde farklılaşmış olduğu görülür.

Aynı türden popülasyonların coğrafi bölgelerine göre çoğunlukla uyarlanma sonucunda farklılaşmaları eğilimine *coğrafi varyasyon* denir. İnsan türündeki bariz örnekler ırklar arasındaki sayısız küçük fiziksel farklılıklar ve ayrıca ten rengi ve duruş gibi özelliklerdeki küçük yerel farklılıklardır. Bu tür değişkenlik başka pek çok hayvan ve bitki türünde de görülmektedir. Yerel popülasyonlar içeren bir türde genellikle bireylerin bir yerden diğerine bir düzeyde göç ettikleri görülür. Göç oranı organizmalar arasında büyük çeşitlilik gösterir; salyangozlarda göç oranı çok düşükken kuşlar ya da pek çok uçan böcek gibi organizmalar son derece hareketlidir. Göçmen bireyler vardıkları yerdeki popülasyonun üyeleriyle melezleşebilirlerse bu popülasyona kendi genetik yapılarını verirler. Dolayısıyla göç, yerel popülasyonların seçilim ya da genetik sürüklenme yoluyla farklılaşma eğilimlerine engel teşkil eden homojenleştirici bir etkidir (bkz 2. Bölüm). Bir türün içerisinde yer alan

popülasyonlar göç oranına ve yerel popülasyonlar arasındaki farklılıkları teşvik eden evrim güçlerine bağlı olarak birbirlerinden az çok farklılaşırlar. Güçlü bir seçilim komşu popülasyonların bile farklılaşmalarına yol açabilir. Örneğin kurşun ya da bakır madenciliği toprağa çoğu bitki için zehirleyici olan bu madenlerin bulaşmasına neden olur, ama pek çok madenin etrafındaki kirlenmiş topraklarda madene dayanabilen bitkiler gelişmiştir. Maden olmadığında bu bitkiler yeterince büyüyemez. Dolayısıyla bu bitkilere yalnızca madenlerde ya da yakınlarında rastlanır ve sınırlara gelindiğinde madenlere dayanamayan bireylere doğru keskin bir dönüşüm görülür.

Bu kadar aşırı olmayan örneklere bakarsak, coğrafi olarak farklılık gösteren seçilimin çevre şartlarındaki değişimlere tepki olarak yarattığı farklılıkları göçün hafifletmesi nedeniyle özelliklerde kademeli coğrafi değişimler görülür. Kuzey yarıkürenin ılıman bölgelerinde yaşayan pek çok memeli türünün kuzeydekilere kıyasla beden boyutlarının daha büyük olduğu görülür. Ortalama beden büyüklüğü kuzeyden güneye doğru az çok kesintisiz olarak değişir; bu durum olasılıkla, ısı kaybının sorun olduğu soğuk iklimlerde daha küçük bedenin seçilmesinin sonucudur. Benzer nedenlerden ötürü kuzey popülasyonlarında kulaklar ve bacaklar güney popülasyonlarına kıyasla daha kısadır.

Aynı türün coğrafi olarak ayrılmış popülasyonları arasındaki farklılıklar mutlaka farklı seçilim tiplerinin etkili olması anlamına gelmez. Aynı seçilim bazen farklı tepkiler yaratabilir. Örneğin, 5. Bölüm'de de anlatmış olduğumuz gibi, sıtma enfeksiyonlarına maruz kalan bölgelerdeki insan popülasyonlarında sıtmaya karşı direnç kazandıran farklı

genetik mutasyonlar görülür. Dirence giden pek çok moleküler yol vardır. Direnç yaratabilen farklı mutasyonlar farklı yerlerde şans eseri oluşur ve belli bir popülasyonda hangi mutasyonun baskın geleceği büyük oranda şansa bağlıdır. Daha önce de bahsetmiş olduğumuz rasgele genetik sürüklenme süreci sonucunda, hiçbir seçilim olmasa bile, aynı türün popülasyonları arasında farklılıklar gelişebilir. Pek çok türde gözle görülür özellikler üzerinde hiçbir etkisi olmayan DNA ya da protein dizilişi varyantlarında bile farklı popülasyonlar arasında belirgin genetik farklılıklara rastlanabilir ve insan popülasyonu da buna istisna değildir. İngiltere içerisinde bile, tek bir genin varyant formlarıyla belirlenen A, B ve O kan gruplarını taşıyan birey sıklığında farklılıklar görülür. Örneğin O kan grubuna Kuzey Galler'de ve İskoçya'da İngiltere'nin güneyine göre daha sık rastlanır. Daha geniş alanlar söz konusu olduğunda kan grubu sıklıklarında daha büyük farklılıklar görülür. B kan grubunun sıklığı Hindistan'ın kimi yerlerinde % 30'a ulaşırken yerli Amerikalılarda hiç görülmez.

Bu tür başka pek çok coğrafi varyasyon örneği bulunmaktadır. Başlıca ırklar arasında gözle görülür farklılıklar olmasına karşın insanlarda farklı popülasyonlar ya da ırk grupları arasında melezleşmeyi önleyen engeller yoktur. Ama bazı türlerde tür aralığının aşırı uçlarındaki popülasyonlar, birbirleriyle melezleşebilen bir ara popülasyon kümesiyle birbirlerine bağlı olmaları hariç, ayrı türler olarak değerlendirilebilecek kadar farklı görünürler. Bir tür aralığının zıt uçlarında yer alan popülasyonların melezleşemeyecek kadar farklılaştıkları örnekler bile vardır; ara canlıların soyunun tükenmesi durumunda bunlar farklı türler olacaklardır.

Bu da önemli bir noktayı aydınlatır: evrim kuramında üremede yalıtımın gelişmesinde ara aşamalar olmalıdır ve bu nedenle iki akraba popülasyonun aynı ya da farklı türe ait olup olmadığını söylemekte zorlanacağımız bazı örnekler gözlememiz gerekmektedir. Her şeyi kesin kategorilere yerleştirmek istememiz durumunda hiç de elverişli olmayan bu durum aslında evrimin tahmin edilebilir bir sonucudur ve doğal dünyada sık sık karşımıza çıkar. Coğrafi olarak ayrılmış popülasyonlar arasında melezleşememe durumunun gelişmesindeki ara aşamaların pek çok örneği bulunmaktadır. Özellikle iyi incelenmiş örneklerden biri Amerikan meyve sineği türü olan *Drosophila pseudoobscura*'dır. Bu canlı Kuzey ve Orta Amerika'nın batı kıyısında, Kanada ile Guatemala arasındaki bölgede yaşar, ama Kolombiya'da, Bogota yakınlarında yalıtılmış bir popülasyon da vardır. Bogota popülasyonundaki sinekler türün diğer popülasyonlarındaki sineklere benzerler, ama DNA dizilişleri biraz farklıdır. Diziliş farklılıklarının birikmesi için uzun zamana gerek olduğundan Bogota popülasyonunun yaklaşık 200,000 yıl önce birkaç göçmen sinek tarafından kurulmuş olması mümkün görünmektedir. Laboratuarda Bogotalı sinekler diğer popülasyonlardan *Drosophila pseudoobscura* sinekleriyle kolayca çiftleşir; ilk küşak melez dişiler tümüyle doğurgandır, ama anneleri Bogotalı olmayan melez erkekler kısırdır. Tür aralığının geri kalan kısmında çok farklı popülasyonlar arasındaki çiftleşmelerde melez erkeklerde kısırlık gözlenmemiştir. Ana popülasyondaki sinekler Bogota'ya getirilseydi Bogotalı sineklerle serbestçe melezleşebilirlerdi ve dişi melezler doğurgan olduğundan melezleşme her kuşakta devam edebilirdi. Dola-

yısıyla Bogota popülasyonu diğer popülasyonlardan farklılığını tümüyle coğrafi izolasyona borçludur. Bu nedenle, ayrı bir tür olarak görülmesi için kesin bir neden yoktur, ama melez erkeklerin kısırlığının gösterdiği gibi, üremede yalıtım gelişmeye başlamıştır.

Aynı türün farklı yerlerde yaşayan popülasyonlarının Galapagos ispinozu örneğinde görüldüğü gibi ortam farklılıklarına uyarlanmalarını sağlayan özellikler açısından birbirlerinden uzaklaşmaya başlamalarının nedenini anlamak oldukça kolaydır. Bunun melezleşememeye neden yol açtığı ise bu kadar açık değildir. Kimi zaman bu durum farklı ortamlara uyarlanmanın oldukça doğrudan bir yan ürünü olabilir. Örneğin, iki maymunçiçeği bitkisi türü olan *Mimulus lewisii* ve *M. cardinalis* kuzeybatı ABD dağlarında yetişir. Çoğu maymunçiçeği gibi *M. lewisii* de arılar aracılığıyla tozlaşır ve çiçeklerinde arılarla tozlaşmaya pek çok uyarlanma görülür (bkz aşağıdaki tablo). Bir maymunçiçeği için alışılmadık bir özellikle *M. cardinalis* kolibrilerle tozlaşır ve çiçeklerinde kolibri tarafından tozlaşmasını teşvik eden çeşitli özellik farklılıkları görülür. Dolayısıyla *M. car-*

İki *Mimulus* türünde çiçek özellikleri

Tür	M. lewisii	M. cardinalis
Tozlaşmayısağlayan	arı	kolibri
Çiçek büyüklüğü	küçük	geniş
Çiçekşekli	geniş, "iniş platformu" var	dar, boru şeklinde
Çiçek rengi	pembe	kırmızı
Nektar	orta, şeker yüksek	bol, şekerdüşük

dinalis muhtemelen, arı yoluyla tozlaşan ve görüntüsü M. *lewisii*'ye benzeyen bir atadan çiçeklerdeki bu özellikleri değiştiren bir süreç sonucunda evrimleşmiştir.

İki maymunçiçeği türü deneysel olarak melezleştirilebilir ve melezleri sağlıklıdır ve üreyebilirler, yine de doğada bu türler birbirlerine karışmadan yan yana büyürler. Yaban ortamında tozlaştırıcı canlıların davranışları üzerinde yapılan gözlemler arıların M. *lewisii*'yi ziyaret ettikten sonra M. *cardinalis*'i ender olarak ziyaret ettiklerini ve M. *cardinalis*'e konmuş olan bir kolibrinin bir M. *lewisii* bitkisine ender olarak konduğunu göstermektedir. Tozlaşmayı sağlayan canlıların ara çiçek özelliklerini taşıyan bitkilere nasıl tepki vereceğini görmek için deneysel olarak üretilmiş ve her iki ebeveynden çok çeşitli özellik bileşimlerini almış ikinci kuşak melez bir popülasyon yaban ortamına dikilmiştir. Bu araştırmada yalıtımı en çok teşvik eden özelliğin çiçek rengi olduğu görüldü; kırmızı arıları itiyor, kolibrileriyse çekiyordu. İki hayvandan birini ya da diğerini etkileyen başka özellikler de vardı. Çiçek başına daha fazla nektar hacmi kolibri ziyaretlerini artırdı, arılarsa daha geniş taçyapraklı çiçeklere daha fazla kondular. İki tür arasındaki ara formların arılar ya da kolibriler yoluyla tozlaşma olasılıkları ve dolayısıyla ebeveyn türlerden yalıtım dereceleri ara düzeydeydi. Bu örnekte kolibriyle tozlaşma geliştikçe doğal seçilimin teşvik ettiği değişimler M. *cardinalis* popülasyonunun yakın akraba M. *lewisii* popülasyonundan üreme açısından yalıtılmasına yol açmıştır.

Çoğu örnekte yakın akraba türler arasında farklılaşmayı neyin teşvik ettiğini ve üremede yalıtıma yol açtığını bilmesek de, coğrafi olarak ayrılmış iki popülasyon arasında üre-

mede yalıtımın başlaması, iki popülasyonda birbirlerinden bağımsız evrimsel değişimler gerçekleşmiş olması durumunda, şaşırtıcı değildir. Bir popülasyonun genetik bileşimindeki her değişiklik ya popülasyon içinde seçilim tarafından kayırılmalı ya da uygunluk üzerinde genetik sürüklenmeyle yayılmasını sağlayacak türde küçük bir etkisi olmalıdır (bu konu 2. Bölüm'de ve bu bölümün sonunda tartışılmaktadır). Bir varyant popülasyon içerisinde yerel ortamına uyarlanmasında avantaj getirdiği için yayılıyorsa, doğal olarak hiçbir zaman karşılaşmadığı farklı bir popülasyonun genleriyle (melezlerde) birleştiğinde oluşabilecek herhangi bir zararlı etki bu yayılmayı engellemeyecektir. Coğrafi ya da ekolojik olarak ayrılmış popülasyonlardan bireyler arasında çiftleşme davranışında uyumu sürdürecek ya da farklı popülasyonlarda farklılaşmış genler arasında normal gelişime izin verecek uyumlu etkileşimleri koruyacak bir seçilim bulunmamaktadır. Korunmasını sağlayacak bir seçilime tabi olmayan diğer özellikler (örneğin mağarada yaşayan hayvanların gözleri) gibi melezleşme yetisi de zamanla bozulur.

Yeterli evrimsel farklılaşma gerçekleştiğinde üremede tam bir yalıtımın oluşması kaçınılmazdır. Her iki tür elektrik fişinin de kendi prizlerinde gayet iyi çalışmasına karşın İngiltere'de tasarlanmış elektrik fişlerinin kıta Avrupa'sında çalışmamasına benzer bir durumdur bu. Uyumluluğun gerekli olduğu insan tasarımı makinelerde uyumun korunması için sürekli çaba gösterilmesi gerekir; örneğin, PC ya da Macintosh bilgisayarlar için tasarlanmış yazılımlar. Türler arası eşleşmeler üzerinde yapılan genetik analizler farklı türlerde genellikle, melezlerde bir araya getirildiğinde iş-

levlerini yitiren farklı gen kümeleri olduğunu gösterir. Daha önce de belirtmiş olduğumuz gibi, pek çok hayvan türünde türler arası çiftleşmelerde ilk kuşak erkekler kısırken dişiler doğurgandır. Dolayısıyla doğurgan melez dişilerle her iki ebeveyn tür arasında melezleşme mümkündür. Bu tür melezleşmelerde erkek yavrunun üreme yetisini test ederek melez erkek kısırlığının genetik temelini analiz edebiliriz. *Drosophila* türleri kullanılarak bu tür kapsamlı çalışmalar yürütülmüştür; sonuçlar, melezlerde kısırlığı iki türün farklı genleri arasındaki etkileşimlerin yarattığını açıkça göstermektedir. *D. pseudoobscura*'nın anakara popülasyonlarıyla Bogota popülasyonları örneğinde melez erkeklerin kısırlığından iki popülasyon arasında farklılık gösteren yaklaşık 15 ayrı genin sorumlu olduğu görülmektedir.

İki popülasyon arasında melezleşebilmelerini engelleyecek farklılıkların doğması için gerekli zaman çok değişkendir. *Drosophila pseudoobscura* örneğinde 200,000 yıl (bir milyondan fazla kuşak) tam bir yalıtım yaratmaya yetmemiştir. Ama Victoria Gölü'ndeki sihlid ailesinden balık türleri örneğinde olduğu gibi, melezleşmenin önündeki engellerin hızla gelişmesine dair kanıtlar da bulunmaktadır. Burada tek bir ata türden 500'den fazla türün geliştiği görülmektedir, oysa jeolojik kanıtlar gölün yalnızca 14,600 yıllık olduğunu gösterir. Bu türler arasındaki yalıtım büyük oranda davranış özelliklerine ve renk farklılıklarına bağlı görünmektedir ve türlerin DNA dizilişlerinde pek az farklılık vardır. Bu grupta yeni bir türün gelişmesi ortalama olarak yaklaşık bin yıl almış görünmektedir, ama aynı göldeki başka balık gruplarında böylesine yüksek bir hızla yeni tür-

ler gelişmemiştir; tipik olarak, yeni bir türün oluşması için on binlerce yıla ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.

İki akraba popülasyon melezleşmelerinin önündeki bir ya da daha fazla engelle tümüyle yalıtıldıklarında evrimsel kaderleri sonsuza dek birbirinden bağımsız olacak ve zamanla farklılaşma eğiliminde olacaklardır. Bu farklılaşmanın önemli nedenlerinden biri doğal seçilimdir; Galapagos ispinozları örneğinde anlattığımız gibi, yakın akraba türlerde farklı yaşam tarzlarına uyarlanmalarını sağlayan pek çok yapısal ve davranışsal özellikte sık sık farklılık görülür. Ama bazen akraba türler arasındaki bariz farklar pek azdır. Böceklerde durum genellikle böyledir; örneğin, *D. simulans* ve *D. mauritania* adlı *Drosophila* türlerinin beden yapıları çok benzerdir ve dışarıdan yalnızca erkek üreme organları yapıları farklı görünür. Yine de ayrı türlerdir ve birbirleriyle çiftleşmekten kaçınırlar. Aynı şekilde, Avrupa cüce yarasasının iki ayrı türe bölünmüş olduğu yakın zamanlarda keşfedilmiştir. Doğada melezleşmezler ve hem sesleri hem de DNA dizilişleri farklıdır. Oysa, daha önce de tartışmış olduğumuz gibi, aynı türün melezleşmelerinin önünde engel bulunmayan pek çok popülasyonu arasında pek çok belirgin farklılık örneğine rastlanmaktadır.

Bu örnekler, kolayca gözlenebilen özelliklerdeki farklılıklarla iki popülasyon arasındaki üreme yalıtımının gücü arasında mutlak bir ilişki olmadığını göstermektedir. İki tür arasındaki farklılığın boyutu üreme açısından yalıtıldıkları zamandan sonra geçen zamana da yakından bağlı değildir. Aralarında çok daha az fark bulunan akraba Güney Amerika türlerini birbirlerinden ayıran zamana kıyasla çok daha kısa bir süre içerisinde evrimleşmiş olan Galapagos

ispinozları gibi ada türleri arasındaki çarpıcı farklılıklar buna iyi bir örnektir (bkz 4. Bölüm, Şekil 13). Aynı şekilde, fosil kayıtlarında, binlerce ya da milyonlarca yıl boyunca çok az değişim gösterdikten ya da hiç değişmedikten sonra paleontologların yeni türler olarak gördükleri yeni formlara ani geçişlerin görüldüğü soy örnekleri bulunmaktadır.

Laboratuar deneylerinin yanı sıra kuramsal modeller de yoğun bir seçilimin bir özellik üzerinde 100 ya da daha az kuşakta büyük değişimler yaratabileceğini göstermektedir (bkz 5. Bölüm). Örneğin, bir meyve sineği *Drosophila melanogaster* popülasyonu sineklerin karınlarındaki kıl sayısının artırılması için yapay olarak seçilmiştir. Seçilim sonucunda 80'in üzerinde kuşaktan sonra ortalama kıl sayısında üç kat artışa ulaşıldı. İnsansımaymuna benzeyen en eski atalarımızla bizim aramızda, ortalama beyin büyüklüğünde yaklaşık 4 milyon yıl içerisinde (kabaca, 200,000 kuşak) gerçekleşen artışla yaklaşık olarak aynı düzeyde bir artıştır bu. İstikrarlı bir ortamda yaşayan bir türün bu ortama uyarlanmasına yetecek zamanı bulmasından sonraysa özelliklerde büyük bir değişim görülmeyecektir. Gözlenen "ani" bir evrim değişiminin (atasıyla melezleşemeyen) yeni bir türün başlangıcına mı işaret ettiğini yoksa ortam değişimlerine tepki olarak evrimleşen tek bir soy mu olduğunu fosil kayıtlarına bakarak anlamak genellikle olanaksızdır. Her iki durumda da jeolojik açıdan hızlı değişimde anlaşılmayacak bir yön bulunmamaktadır.

Son olarak, örneğin bakteri gibi pek çok tekhücreli organizmada görülen eşeysiz üreme söz konusu olduğunda tür ne anlama gelir? Melezleşebilme kriteri burada anlam-

sızdır. Bu örneklerde biyologlar sınıflandırma yapabilmek için ya pratik önem taşıyan özelliklere (örneğin bakteri hücre duvarlarının yapısı) ya da giderek DNA dizilişlerindeki farklılıklara dayanan keyfi benzerlik ölçütlerine başvururlar. Kullanılan özellikler açısından birlikte kümelenen, birbirlerine yeterince benzer bireyler aynı tür altında sınıflandırılır, farklı bir küme oluşturan diğer gruplarsa farklı türlere ayrılır.

Moleküler Evrim ve Türler Arasında Farklılaşma

İki türün ayrılmasından sonra geçen zamanla morfolojik özelliklerindeki farklılaşma arasındaki ilişkinin gelişigüzelliği karşısında biyologlar, farklı türlerin akrabalık düzeyleri hakkında çıkarımda bulunabilmek için, DNA dizilişlerinden elde edilen bilgilere giderek daha fazla başvuruyorlar.

Aynı sözcüğün ayrı ama akraba dillerdeki yazımlarının karşılaştırılmasında olduğu gibi, farklı türlerde aynı genin dizilişinde farklılıkların yanı sıra benzerlikler de görebiliyoruz. Örneğin İngilizce'de *house* (ev), Almanca'da *haus*, Flamanca'da *huis* ve Danca'da *hus* sözcükleri aynı anlama gelir ve çok benzer şekillerde telaffuz edilir. Bu sözcükler arasında iki tip fark vardır. Öncelikle, belli bir konumdaki harf değişmiştir; örneğin Almanca ve İngilizce'ye bakıldığında ikinci konuma *a* yerine *o* gelmiştir. İkinci olarak, harf eklenmiş ya da çıkarılmıştır; İngilizce'deki son harf olan *e* diğer dillerde yoktur ve Danca sözcükte de Al-

manca sözcükte ikinci konumda yer alan *a* görülmez. Diller arasındaki tarihsel ilişkiler hakkında daha fazla bilgi olmadan bu değişimlerin yönünden emin olmak güçtür, ama yalnızca İngilizce'de son harfin *e* olması sonradan eklenmiş olduğuna işaret eder ve *hus*'un en kısa versiyon olması da Danca sözcükte bir harfin kaybedilmiş olduğunu düşündürür. Geniş bir sözcük örneklemesinde bu tür karşılaştırmalar yapıldığında farklı diller arasındaki farklılıklar akrabalıklarını ölçmekte kullanılabilir ve bu farklılıklarla dillerin birbirlerinden uzaklaşmakta oldukları süre arasında sağlam bir bağıntı bulunmaktadır. Amerikan İngilizce'si İngiliz İngilizce'sinden yalnızca birkaç yüzyılla ayrılmıştır, ama farklı yerel versiyonların gelişmesi de dahil olmak üzere, ayırt edilebilir derecede birbirlerinden farklılaşmışlardır. Flamanca ve Almanca'nın daha fazla, Fransızca'yla İtalyanca'nın ise daha da fazla farklılaşmış oldukları görülür.

Aynı ilke DNA dizilişleri için de kullanılabilir. DNA'ya harfler eklenmesine ya da silinmesine bağlı değişimler, proteindeki aminoasit dizilişinde genellikle önemli etkiler yaratacakları ve işlevsiz hale getirecekleri için, genlerin proteinler için kodlama yapan kısımlarında ender görülür. Yakınakraba türler arasında genlerin kodlama dizilerindeki çoğu değişim DNA dizilişindeki örneğin bir G'nin A olarak değişmesi gibi tekli değişimleri içerir. Şekil 8'de verilen örnek insan, şempanze, köpek, fare ve domuzda melanosit uyarıcı hormon alıcı genindeki kısımların dizilişlerini göstermektedir.

İki ayrı organizmada aynı genin dizilişinde farklı olan DNA harfi sayısı karşılaştırılarak farklılaşma düzeyi tam

olarak ölçülebilir; oysa bunun morfolojik benzerlik ve farklılıklara dayanılarak yapılması zordur. Genetik kodu bildiğimizde, farklılıkların hangisinin söz konusu gene tekabül eden protein dizilişini değiştirdiğini (*ikame* değişimleri) ve hangisinin değiştirmediğini (*sessiz* değişimler) anlayabiliriz. Örneğin, Şekil 8'de melanosit uyarıcı hormon alıcısı dizilişlerinde insan ve şempanze dizilişleri için verilen farklılıklar sayıldığında, yer verilen 120 DNA harfinde dört farklılık görülür. Türlerin tüm dizilişleri için (bazı DNA harfleri eklentilerinin ve silinmelerinin olduğu küçük bir bölge hariç tutularak) insan dizilişine kıyasla farklılık sayısı aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Yakın tarihli bir çalışma insanlarla şempanzeler arasındaki karşılaştırmada kodlama yapmayan 53 DNA dizisindeki diziliş farklılığının toplam harflerin % 0 ila 2.6'sı arasında değiştiğini ve ortalamanın yalnızca % 1.24 olduğunu gösterdi (insan ve goril karşılaştırmasındaysa bu oran % 1.62'ydi). Bu tahminler artık neden gorillerin değil de şempanzelerin yaşayan en yakın akrabalarımız olarak görüldüğünü gösteriyor. İnsan orangutanla karşılaştırıldığında farkın arttığı, babunla karşılaştırıldığındaysa daha da arttığı

İnsanla karşılaştırma	Aynı aminoasit (sessiz farklılıklar)	Farklı aminoasit
Şempanze	17	9
Köpek	134	58
Fare	169	63
Domuz	107	56

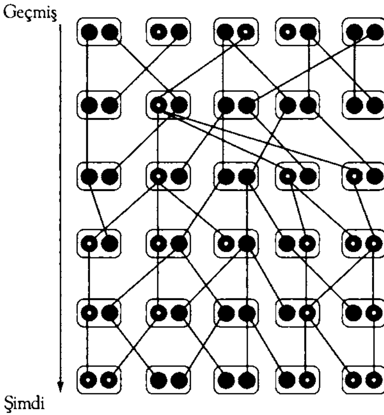
görülüyor. Etçillerle kemirgenler gibi daha uzak akrabalarda diziliş düzeyinde görülen farklılık primatlar arasındaki farklılıklara kıyasla çok daha fazladır; örneğin memeliler kuşlardan birbirlerinden farklılıklarına kıyasla daha farklıdır. Diziliş karşılaştırmasının ortaya çıkardığı akrabalık modelleri, evrim kuramında beklendiği gibi, fosil kayıtlarında başlıca hayvan ve bitki gruplarının ortaya çıktığı zamanlara bakıldığında öngörülen modellerle uyum içindedir.

Diziliş farklılıkları tablosu sessiz değişimlerin ikame değişimlerinden genelde daha yaygın olduğunu gösteriyor, ama insan ve şempanze gibi yakın akraba türlerde sessiz değişimlere bile ender rastlanıyor. Buradan ulaşılacak bariz yorum, bir proteinin aminoasit dizilişinde oluşan değişimlerin çoğunun proteinin işlevini bir derece bozduğudur. 5. Bölüm'de de anlatmış olduğumuz gibi, bir mutasyonun neden olduğu küçük bir zararlı etki seçilimin popülasyon içerisinde bu mutasyonu hızla ortadan kaldırması sonucunu verebilir. Dolayısıyla, protein dizilişlerini değiştiren mutasyonların çoğu, türler arasında birikmiş evrimsel gen dizilişleri farklılıklarına asla katkıda bulunmaz. Ama aminoasit dizilişi evrimlerinden bazılarının ender olarak görülen olumlu mutasyonları kullanan seçilim tarafından teşvik edildiğini ve bu şekilde moleküler uyarlanmaların gerçekleştiğini gösteren kanıtlar da giderek artmaktadır (bkz 5. Bölüm).

Aminoasitleri değiştiren mutasyonların sık sık zararlı etkiler yaratmasının aksine, gen dizilişlerindeki sessiz değişimlerin biyolojik işlevler üzerindeki etkisi ya çok az olacak ya da hiç olmayacaktır. Dolayısıyla, türler arasındaki gen dizilişi farklılaşmalarının çoğunun sessiz değişimler

olması mantıklıdır. Ama bir popülasyonda yeni bir sessiz mutasyon ilk ortaya çıktığında söz konusu genin binlerce ya da milyonlarca kopyası arasındaki tek bir kopyadan ibarettir (popülasyondaki her bireyde iki adet). Böyle bir mutasyon seçilim açısından taşıyıcısına herhangi bir avantaj kazandıramazsa popülasyon içerisinde nasıl yayılır? Yanıt, büyüklüğü kısıtlı popülasyonlarda alternatif varyantların sıklığında oluşan rasgele değişimlerdir (genetik sürüklenme); bu kavram 2. Bölüm'de kısaca ele alınmıştı.

Bu süreç şöyle işler: Bir meyve sineği *Drosophila melanogaster* popülasyonunu incelediğimizi düşünelim. Popülasyonun sürdürülebilmesi için her yetişkinin bir sonraki kuşağa ortalama iki yavru bırakması gerekir. Popülasyon içerisinde göz renginin değişken olduğunu varsayalım; bazı bireyler gözlerin parlak kırmızı olmasına yol açan mutant bir gen taşırlarken, bu genin mutant olmayan versiyonu diğer tüm sineklerin gözlerinin normal donuk kırmızı olmasına yol açıyor. Bu iki genden herhangi birini taşıyan bireylerin yavru sayısı ortalama olarak aynı düzeydeyse göz rengi üzerinde bir seçilim olmaz; bu durumda etkinin nötr olduğu söylenir. Seçilimdeki bu nötrlük nedeniyle bir sonraki kuşağın genleri ebeveyn popülasyondan rasgele gelecektir (Şekil 18). Kimi bireylerin hiç yavrusu olmazken bazılarının şans eseri ortalama sayı olan ikiden fazla yavrusu olabilir. Bu da sonraki kuşakta mutant gen sıklığının ebeveyn kuşaktaki sıklıkla aynı olmayacağı anlamına gelir, çünkü mutant geni taşıyan ve taşımayan bireylerin tam olarak aynı sayıda yavrularının olması hiç olası görünmemektedir. Bu nedenle kuşaklar boyunca popülasyon bileşiminde sürekli olarak rasgele dalgalanmalar görülecek ve



18. Genetik sürüklenme. Beş bireyden oluşan bir popülasyonda altı kuşak içerisinde tek bir gende görülen genetik sürüklenme süreci. Açıkbir sembolle gösterilmiş olan her bireyde genin her biri ebeveynlerden birinden gelmiş iki kopyası bulunmaktadır. Bireyin gen kopyalarının farklı DNA dizilişleri ayrıntılı olarak verilmemiş, beyaz bir noktası olan ya da olmayan siyah dairelerle gösterilmiştir. Metinde verilen *Drosophila* örneğinde beyaz noktalar parlak kırmızı göz rengine yol açan gene, siyah dairelerse donuk kırmızı göz rengine yol açan varyanta denk gelebilir. İlk kuşakta üç bireyde genin beyaz noktalı tipinden bir ve siyah tipinden bir adet bulunmaktadır. Dolayısıyla, popülasyondaki genlerden % 30'unda beyaz nokta vardır. Şekilde her kuşakta genin soy çizgileri verilmiştir (kolaylık sağlamak amacıyla, örneğin domates gibi pek çok erdişi bitki türünde ve yer solucanları gibi bazı hayvanlarda görüldüğü gibi, bireylerin erkek ya da dişi olarak üreyebildiklerini varsayıyoruz). Kimi bireylerin şans eseri diğerlerinden daha fazla yavrusu olurken diğerlerinin daha az yavrusu olabilir ya da hayatta kalan yavruları olmayabilir (örneğin 2. kuşakta sağda gösterilen birey). Dolayısıyla, beyaz noktalı ve siyah gen kopyaları sayısı kuşaktan kuşağa değişmektedir. Üçüncü kuşakta bireylerden üçü beyaz noktalı gen kopyasını ikinci kuşaktaki böyle bir gen taşıyan tek bir bireyden alıyor ve böylece bu gen tipinin görülme oranı % 10'dan %30'a ulaşıyor; ikinci kuşakta oran % 50'ye yükseliyor vb.

önünde sonunda popülasyonun tüm üyelerinde ya parlak kırmızı renk geni olacak, ya da bu gen kaybolacak ve bireylerin tümünde genin diğer versiyonu olacaktır. Küçük bir popülasyonda genetik sürüklenme hızlıdır ve popülasyonun tüm üyelerinin aynı hale gelmesi uzun zaman almaz. Büyük bir popülasyonda ise bu çok daha uzun zaman alacaktır.

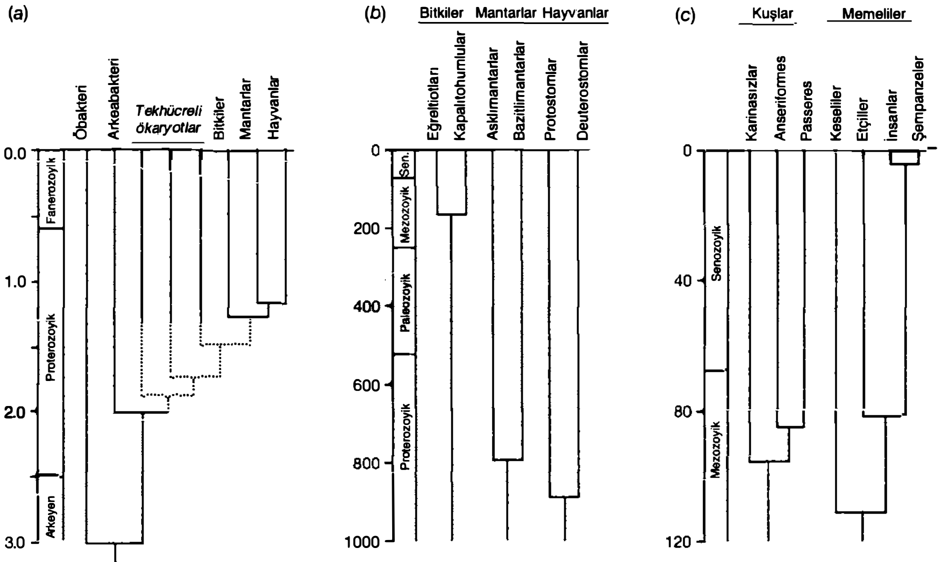
Bu durum genetik sürüklenmenin iki etkisini gösterir. İlk olarak, yeni bir varyantın sonunda kaybolmaya ya da % 100'lük bir görülme sıklığına (*sabitlenme*) doğru sürüklendiği sırada genden etkilenen özellik popülasyon içerisinde değişkendir. Mutasyon yoluyla yeni nötr varyantların girmesi ve varyant sıklıklarında sürüklenme nedeniyle oluşan değişimler (ve zaman zaman, varyant genlerin kaybedilmesi) popülasyondaki değişkenliği belirler. Bir popülasyon içerisinde yer alan farklı bireylerde aynı genin DNA dizilişleri incelendiğinde, 5. Bölüm'de de bahsetmiş olduğumuz gibi, bu sürece bağlı olarak sessiz konumlarda değişkenlik görülür.

Genetik sürüklenmenin ikinci bir etkisi, başlangıçta ender görülen ve seçilim açısından nötr olan bir varyantın kaybolması olasılığının daha yüksek olmasına karşın, tüm popülasyona yayılarak alternatif varyantların yerini alması yönünde belli bir şansı olmasıdır. Bu nedenle, değişimi teşvik eden bir seçilim olmadığında bile genetik sürüklenme yalıtılmış popülasyonlar arasında evrimsel farklılaşma yaratır. Çok yavaş bir süreçtir bu. Hızı yeni nötr mutasyonların oluşma hızına ve ayrıca, genetik sürüklenmenin bir genin bir versiyonunun yeni bir versiyonla değiştirilmesine yol açma hızına bağlıdır. İki tür arasında DNA dizilişle-

rinde farklılaşma hızının yalnızca DNA harfi başına mutasyon hızına (bir ebeveyndeki belli bir harfin yavruya geçirilen kopyada mutant olması sıklığı) bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun için sezgisel olarak getirilecek açıklama, hiçbir seçilimin olmaması durumunda iki tür arasındaki mutasyona bağlı farklılık sayısını, dizilişte mutasyonların ortaya çıkması hızı ve türlerin son ortak atalarından bu yana geçmiş olan zaman dışında hiçbir şeyin etkilememesidir. Mutasyonun görülebileceği daha fazla birey olduğu için, büyük bir popülasyonda kuşak başına daha fazla yeni mutasyon gerçekleşir. Ama yukarıda da açıklandığı gibi genetik sürüklenme küçük bir popülasyonda daha hızlı gerçekleşir. Popülasyon büyüklüğünün iki zıt etkisinin birbirlerini tam olarak ortadan kaldırdıkları anlaşılmaktadır ve bu nedenle farklılaşma hızını mutasyon hızı belirlemektedir.

Bu kuramsal sonucun farklı türler arasındaki akrabalığı saptayabilme kapasitemiz üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bir gende nötr değişimlerin genin mutasyon hızına bağlı bir hızla zaman içerisinde biriktiği anlamına gelmektedir (3. Bölüm'de bahsettiğimiz ama açıklamadığımız moleküler saat ilkesi). Dolayısıyla, genlerdeki diziliş farklılıklarının, seçilime bağlı özelliklerdeki değişimlere kıyasla daha saate benzer şekilde işlemesi daha olasıdır. Morfolojik değişim hızı ortam değişimlerine bağlıdır ve farklı hızlar ve yön değişimleri görülebilir.

Moleküler saat bile tam bir katiyet sunmaz. Aynı soy içerisindeki ve farklı soylar arasındaki moleküler evrim hızı zamanla değişebilir. Yine de moleküler saatin kullanılması biyologların türler arasındaki fosil kanıtları bulunma-



19. Gruplar arasındaki tahmini farklılaşma tarihlerinin verildiği, DNA dizilişi farklılıklarına dayalı soyağacı kronolojisi. Kısım a'da tüm organizmalar (öbakteriler ve arkeabakteriler iki büyük bakteri bölümüdür), b'de çokhücreli organizmalar (kapalıtohumlular çiçekli bitkilerdir; asklımantarlar ve bazitlimantarlar ise başlıca iki mantar tipidir), c'de kuş ve memeli grupları (karinasızlar devekuşları ve akrabalarıdır; *Anseriformes* ördekler ve akrabalarıdır; *Passeres* ise özötücülerdir) gösterilmiştir.

yan farklılaşmaları kabaca tarihlendirebilmelerini sağlar. Saatin ayarlanması için, farklılaşma tarihleri bilinen en yakın türün dizilişlerine ihtiyaç vardır. Bu yöntemin en önemli uygulamalarından biri, günümüz insanlarının geldiği soyla şempanze ve gorillerin geldikleri soy arasındaki ayrılmanın zamanının saptanması olmuştur; bu konuda bağımsız fosil kanıtları bulunmamaktadır. Çok sayıda gen dizilişiyle moleküler saatin kullanılması belli bir kesinlikle 6 ila 7 milyon yıllık bir tarih tahmini getirilebilmesini sağlamıştır. Nötr diziliş evriminin hızı mutasyon hızına bağlı olduğundan saat son derece yavaştır, çünkü DNA'daki tek tek harflerin mutasyon sonucu değişme hızı çok düşüktür. İnsanlarla şempanzeler arasında DNA harflerinde yaklaşık % 1 oranında bir fark olması, tek bir harfin bir milyar yılda yalnızca bir kez değişmesi anlamına gelir. Mutasyon hızlarına dair deneysel ölçümlerle tutarlıdır bu.

Proteinlerin aminoasit dizilişlerinde de bir moleküler saatin etkili olduğu anlaşılmıştır. Daha önce de belirtmiş olduğumuz gibi, protein dizilişleri sessiz DNA farklılıklarına kıyasla çok daha yavaş evrimleşir ve bu nedenle çok uzun bir zaman önce farklılaşmış türlerin karşılaştırılması gibi zorlu bir işte çok yararlı olurlar. Bu tür türler karşılaştırıldığında, DNA dizilişlerinde bazı yerlerde çok sayıda değişim olmuş ve böylece gerçekleşmiş mutasyon sayısını tam olarak hesaplamak olanaksız hale gelmiş olacaktır. Dolayısıyla, başlıca canlı grupları arasındaki farklılaşma zamanlarını ortaya çıkarmak isteyen bilim adamları yavaş evrimleşen moleküllere dayalı verileri kullanırlar (Şekil 19). Bu tarihler kaba tahminlerdir elbette, ama pek çok

farklı genden gelen tahminlerin birikmesi yöntemin doğruluk düzeyini yükseltebilir. Farklı hızlarda evrimleşen genlerden elde edilen diziliş bilgilerinin titizlikle kullanılması evrim biyologlarının son ortak ataları bir milyar yıl önce yaşamış organizma grupları arasındaki akrabalıklara dair bir tablo oluşturabilmelerini sağlamaktadır. Diğer bir deyişle, yaşam ağacını çizmeye giderek daha fazla yaklaşıyoruz.

VII. Bölüm

BAZI ZORLU SORUNLAR

Evrim kuramı biyologlarca daha iyi anlaşılıp sınandıkça yeni sorular ortaya çıkmıştır. Sorunların tümü çözülememiştir henüz ve yeni sorular kadar eski sorular hakkında da tartışmalar sürmektedir. Bu bölümde, açıklanması zor görünen bazı biyolojik olgu örneklerini anlatacağız. Bunlardan bazılarını Darwin de ele almış, bazılarıysa sonraki araştırmalara konu olmuştur.

Karmaşık Uyarlanmalar Nasıl Gelişebilir?

Doğal seçilim yoluyla evrim kuramını eleştirenler sık sık, protein moleküllerinden hücrelere, gözlere ve beyinlere uzanan karmaşık biyolojik yapıların gelişmesinin zorluğu konusunu gündeme getirirler. Tümüyle işleyen ve çok güzel uyarlanmış bir biyolojik mekanizma nasıl olur da şansa bağlı mutasyonlara dayanan seçilim yoluyla üretilebilir?

Bunun nasıl olduğunu anlayabilmenin anahtarı "uyarlanma" sözcüğünün bir başka anlamında gizlidir. Organizmaların ve karmaşık mekanizmalarının evriminde görülen pek çok yön, tıpkı makinelerin mühendisler tarafından yapılmasında olduğu gibi, daha önceki yapıların değişmiş (uyarlanmış) versiyonlarıdır. Karmaşık makineler ve araçlar üretilirken kaba ilk modeller zaman içerisinde geliştirilip yeni ve kimi zaman beklenmedik kullanımlara uyacak şekilde çeşitlendirilir (uyarlanır). Dizin tümden değiştirilmesi işleminin gelişimi, bir soruna getirilen ilk kaba çözümün işe yarayacak denli iyi olduğu, ama giderek daha iyi çalışacak şekilde uyarlandığı sürece iyi bir örnektir. Tıpkı biyolojik evrimde olduğu gibi, günümüz standartlarına göre zayıf görünen pek çok tasarım geliştirilmiştir, ama bu tasarımların her biri bir öncekine göre bir ilerlemedir ve diz cerrahları bunları kullanabilmişlerdir. Günümüzün karmaşık yapay dizlerinin evriminde bunların hepsi birer aşama olarak rollerini oynamışlardır.

"Tasarımların" bu şekilde arka arkaya uyarlanması, kalın bir siste bir tepeye tırmanmaya benzer. Zirveye ulaşmak hedeflenmediğinde (ya da zirvenin nerede olduğu bilinmediğinde) bile, basit bir kuralın uygulanması şartıyla –her adım yukarı doğru atılmalıdır– zirveye (ya da en azından yerel tepeye) giderek daha çok yaklaşılır. Bir yapıyı şu ya da bu yönden daha iyi çalışır hale getirdiğinizde sonuç geliştirilmiş bir tasarımdır ve bir Tasarımcı'ya gerek yoktur. Mühendislikte geliştirilmiş tasarım genellikle, bir makinenin evrimi sırasında farklı mühendislerin yaptıkları pek çok katkının sonucudur; günümüzün arabaları ilk araba tasarımcılarını herhalde hayrete sürüklerdi. Doğal evrimde

de, sahiplerinin hayatta kalmalarını ya da başkalarından daha fazla üremelerini sağlayan küçük değişiklikler yoluyla organizmayla "oynamanın" sonuçları görülür. Karmaşık bir yapının evriminde yapının farklı parçalarının işleve bir bütün olarak gerektiği gibi uyarlanması için çeşitli farklı özelliklerin aynı anda gelişmesi gerekir elbette. 5. Bölüm'de avantajlı özelliklerin, başlangıçta ender olsalar bile, bir popülasyon içerisinde başlıca evrimsel değişimler için müsait olan süreye kıyasla daha kısa bir sürede yayılabileceğini gördük. Dolayısıyla, zaten işleyen, ama daha da geliştirilebilecek bir yapıda arka arkaya oluşan küçük değişimler büyük evrimsel değişimler yaratabilir. Binlerce yıldan sonra karmaşık bir yapının bile köklü bir dönüşümden geçmesini hayal etmek hiç de güç değildir. Yeterli zamanın geçmesinden sonra yapı eski durumundan pek çok farklı açıdan farklı olacak ve böylece sonraki popülasyondaki bireylerde, tıpkı günümüz arabalarının ilk arabalardan pek çok açıdan farklı olmaları gibi, ata popülasyonda hiç görülmemiş özellik bileşimleri görülecektir. Yalnızca kuramsal bir olasılık değildir bu: 5. Bölüm'de de anlatmış olduğumuz gibi, hayvan ve bitki yetiştiricileri yapay seçilim yoluyla bunu sürekli yaparlar. Bu nedenle, doğal seçilimin bir dizi karşılıklı olarak uyarlanmış unsurdan oluşan son derece karmaşık özelliklerin gelişmesini nasıl sağladığını anlamak hiç zor değildir.

Kimi zaman protein moleküllerinin evrimi özellikle zorlu bir sorun olarak gündeme getirilmektedir. Proteinler doğru şekilde işlemeleri için parçalarının etkileşime girmesi gereken karmaşık yapılardır (pek çok proteinin başka proteinlerle ve bazı örneklerde DNA da dahil olmak üzere başka moleküllerle de etkileşime girmesi gerekir). Evrim

kuramının protein evrimini açıklayabilmesi şarttır. 20 farklı aminoasit türü vardır ve bu nedenle doğru aminoasitin 100 aminoasit uzunluğundaki bir protein molekülünde (gerçek proteinlerin pek çoğu bundan daha uzundur) belli bir yerde ortaya çıkması şansı 20'de birdir. 100 aminoasitin rasgele bir araya atılmasıdurumunda dizilişteki her konuma doğru aminoasitin gelmesi ve çalışan bir proteinin oluşması şansı elbette daha da azdır. Bu nedenle, çalışan bir proteinin oluşturulabilmesi şansının bir hurdalıkta esen bir kasırganın bir uçak oluşturması olasılığına benzediği öne sürülmüştür. Dizilişteki her konum için rasgele bir aminoasit seçerek çalışan bir proteinin oluşturulamayacağı doğrudur. Ama yukarıda verilen açıklamanın da gösterdiği gibi doğal seçilim bu şekilde işlemez. Proteinler başlangıçta muhtemelen, tepkimelerin biraz daha hızlı yürümesini sağlayan, birkaç aminoasitten oluşmuş kısa zincirlerdi ve evrimleştikçe geliştiler. Evrim sırasında protein dizilişlerinin proteinin bulunmadığı duruma kıyasla tepkimeleri daha iyi katalizlemiş ve evrimsel zaman içerisinde bu işteki başarılarının artmış olması durumunda, asla var olmayacak milyonlarca olası işlevsiz diziliş için endişelenmeye hiç gerek yoktur. Her biri zinciri değiştiren ya da uzatan, birbirini izleyen değişimlerin bir proteini nasıl geliştireceğini ilke olarak anlamak hiç zor değildir.

Proteinlerin işleyişi hakkındaki bilgilerimiz bunu destekler. Proteinin kimyasal faaliyetleri için temel önem taşıyan kısmı genellikle, dizilişinin yalnızca küçük bir parçasıdır. Tipik bir enzimde enzim tarafından değiştirilecek kimyasal maddeyle fiziksel etkileşime giren aminoasit sayısı aslında pek azdır. Protein zincirinin geri kalan kısmının

büyük bölümü bu etkileşimle ilgili parçanın yapısını destekleyen bir yapı iskelesi sunar yalnızca. Bu da bir proteinin işleyişinin temelde yalnızca görece küçük bir aminoasit kümesine bağlı olduğuna işaret eder ve bu nedenle protein dizilişinde az sayıda değişiklik olduğunda yeni bir işlev gelişebilir. Protein dizilişlerinde yapay olarak yaratılmış bir dizi değişimin yeni faaliyetler için seçilime tabi tutulduğu çeşitli deneylerle bu doğrulanmıştır. Bu yolla, örneğin bazen yalnızca tek bir aminoasitteki bir değişimle proteinlerin biyolojik faaliyetlerinde oldukça köklü değişimler yaratmanın şaşırtıcı derecede kolay olduğu görülmüştür ve doğal olarak gelişmiş değişimler arasında da benzer örnekler bulunmaktadır.

Örneğin organizmaların ihtiyaç duydukları kimyasal maddeleri üreten tepkime yolları gibi, birbirini izleyen enzim tepkimeleri yollarının gelişmesinin nasıl mümkün olduğu sorusuna da benzer bir yanıt verilebilir. Yararlı nihai ürünler üretilmiş olsa bile, evrimin öngörüsü bulunmadığına ve bir enzim tepkimesi zincirini işlevi tamamlanana dek kuramayacağına göre, bu tür yolların gelişmesinin olanaksız olduğu söylenebilir. Bu bulmacanın çözümü de basittir. Pek çok yararlı kimyasal madde erken dönem organizmaların ortamında muhtemelen zaten vardı. Yaşam geliştikçe miktarları azaldı. Benzer bir kimyasal maddeyi yararlı bir kimyasal maddeye dönüştürebilen bir organizma bundan yarar sağlayacak ve böylece bu değişimi katalize edecek bir enzim gelişecekti. Yararlı kimyasal madde artık bağlantılı bir kimyasal maddeden sentez edilebilecekti. Böylece, bir önceli ve bir ürünü olan kısa bir biyosentez yolu kayırılmış olacaktı. Bunun gibi birbirini izleyen adım-

lar yoluyla, organizmaların ihtiyaç duydukları kimyasal maddeleri oluşturacak yollar –nihai üründen geriye doğru– gelişecekti.

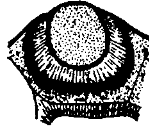
Karmaşık uyarlanmalar evrim biyologlarının öne sürdükleri gibi gerçekten aşamalı olarak gelişiyorsa, bu tür özelliklerin evrimindeki ara aşamalara dair kanıtlar bulabilmeliyiz. Bu tür iki kanıt kaynağı var: fosil kayıtlarında ara aşamaların görülmesi ve basit ve daha ileri durumlar arasındaki ara aşamaları gösteren günümüz türleri. 4. Bölüm'de çok farklı canlıları birbirine bağlayan ara fosil örneklerinden bahsettik; bunlar adım adım giden evrimsel değişimler ilkesini destekliyor. Elbette, özellikle de zamanda geriye doğru gidildikçe, pek çok örnekte tam bir ara aşama yokluğu görüyoruz. Özellikle de yumuşakçalar, eklembacaklılar ve omurgalılar da dahil olmak üzere başlıca çokhücreli hayvan bölümlerinin neredeyse tamamı Kambriyen'de (500 milyon yıldan fazla bir süre önce) aniden ortaya çıkar ve atalarıyla ilgili hiçbir fosil kanıt bulunmamaktadır. Aralarındaki ilişkiler hakkındaki yakın tarihli DNA dizi analizleri bu grupların Kambriyen çağından çok önce ayrı soylar olduğuna işaret etmektedir (Şekil 19), ama muhtemelen yumuşak bedenli oldukları ve dolayısıyla fosilleşmeleri olasılığı düşük olduğu için neye benzedikleri konusunda hiçbir bilgimiz bulunmuyor. Ama fosil kayıtlarının eksikliği ara aşamaların olmadığı anlamına gelmez. Sürekli olarak yeni ara aşamalar keşfedilmektedir. Yakın zamanlarda keşfedilmiş olan örneklerden biri Çin'de bulunmuş olan 125 milyon yıllık bir memeli fosilidir ve günümüzün eteneli memelilerine benzer özellikleri bulunmaktadır, ama bu tür bilinen en eski fosilden 40 milyon yıl daha yaşlıdır.

Yaşayan canlıların karşılaştırılmasından elde edilen diğer kanıt türü, fosilleşmeyen özellikler hakkındaki yegâne bilgi kaynağımızdır. Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nin 6. Bölüm'ünde vurguladığı gibi, basit ama önemli bir örnek de uçma yetisidir. Yarasaları diğer memelilere bağlayan hiçbir fosil bulunmamaktadır; 60 milyon yıllık birikintilerde bulunmuş olan ilk yarasa fosillerinin günümüzdeki yarasalar gibi son derece değişmiş bacakları vardır. Ama günümüzde süzülebilen ama uçamayan pek çok memeli örneği vardır. En tanıdık örnek, ön ve arka bacaklarını birbirine bağlayan deri dışında sıradan sincaplara çok benzeyen "uçan" sincaplardır. Bu deri kaba bir kanat işlevi görerek sincapların kendilerini havaya fırlattıklarında belli bir süre süzülebilmelerini sağlar. Uçan maki (bunlar aslında maki değildir ve uçan sincaplarla akrabalıkları bulunmamaktadır) de dahil olmak üzere başka memelilerde ve bir keseli türünde de süzülmeye uyarlanma bağımsız olarak gelişmiştir. Süzülebilen kertenkele, yılan ve kurbağa türleri de bilinmektedir. Süzülebilme yetisinin ağaçta yaşayan bir hayvanın bir avcı tarafından yakalanıp yenme riskini ne kadar azalttığını tahmin etmek güç değil ve süzülme, daldan dala sıçrayan bir hayvanın bedeninin aşamalı olarak değişmesi sonucunda gelişebilir. Süzülme için kullanılan deri alanında aşamalı bir genişlemenin ve ön bacaklarda bu genişlemeyi destekleyecek modifikasyonların oluşmasının avantaj kazandıracağı kesindir. Uçan makinin kafasından kuyruğuna dek uzanan geniş bir zarı vardır. Bu zar yarasa kanatlarına çok benzer, ama bu hayvan uçamaz, yalnızca süzülebilir. Son derece etkin süzülmeye izin veren bir kanat yapısı geliştiğinde gerekli gücü üretecek kanat kas yapısının gelişmesi kolayca hayal edilebilir.

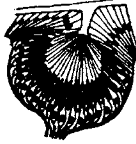
Gözün evrimi Darwin'in de ele almış olduğu bir başka örnektir. Omurgalı gözü, retinasındaki ışığa duyarlı hücreleri, görüntünün retinada odaklanmasını sağlayan saydam korneası, merceği ve odaklanmayı ayarlayan kaslarıyla son derece karmaşık bir yapıdır. Tüm omurgalı hayvanlarda temelde aynı göz tasarımına rastlanır, ama ayrıntılarda farklı yaşam şekillerine uyarlanmış pek çok varyasyon da görülür. Mercek retina olmadan, retina ise mercek olmadan işe yaramayacağına göre, böylesine karmaşık bir mekanizma nasıl gelişmiş olabilir? Yanıt, retinanın mercek olmadan işe yaramadığının doğru olmamasıdır. Pek çok omurgasız hayvanın merceksiz basit gözleri vardır. Bu tür hayvanların berrak görüntüye ihtiyaçları yoktur. Avcıları saptamaları için ışığı ve karanlığı algılamaları yeterlidir. Aslında, farklı hayvan gruplarında, ışığa duyarlı basit alıcılarla, dünyaya ait görüntüler üreten çeşitli karmaşık araç tipleri arasında çeşitli ara aşamalar görülmektedir (Şekil 20). Tekhücreli ökaryotlar bile ışığa duyarlı rodopsin proteini moleküllerinden oluşan alıcılar aracılığıyla ışığı saptayıp tepki verebilmektedirler. Rodopsin tüm hayvan gözlerinde kullanılır ve bakterilerde de vardır. Hücrelerin bu basit ışığı algılama yetilerinden başlayarak, ışığı yakalama yetisinin adım adım geliştiği ve sonunda keskin bir görüntü üreten odaklanabilir bir mercek yarattığı bir dizi adımı hayal etmek hiç de güç değil. Darwin'in de belirttiği gibi:

> Canlı bedenlerde varyasyon küçük değişmelere yol açacak . . . ve doğal seçilim her ilerlemeyi yanılmaz bir beceriyle seçecektir. Bu sürecin milyonlarca yıl ve her yıl pek çok çeşitten milyonlarca birey üzerinde sürmesine izin verin; ve

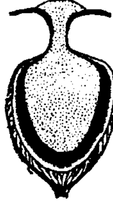
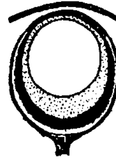




Denizanası ve akraba türler


Denizsolucanları

Salyangozlar





Denizyıldızı ve denizkestanesi

20. Bazıomurgasızhayvanlarda göz. Belli bir grup içerisindeki ayrı türlerde görülen göz türleri her sırada soldan sağa doğru gelişmişlik sırasına göre verilmiştir. Örneğin ikinci sıradaki denizsolucanlarında sol taraftaki göz birkaç ışığa duyarlı hücreyle pigment hücresinden ve ışığı ortalarına yansıtan saydam bir koniden ibarettir. Ortadaki gözde saydam peltemsi sıvıyla dolu bir odacık ve ışığa duyarlı çok sayıda hücrenin olduğu bir retina vardır. Sağ taraftaki gözdeyse odacığın önünde küre şeklinde bir mercek ve çok daha fazla sayıda ışık alıcısı bulunmaktadır.

camdan yapılma bir araçtan üstün olan. . . canlı bir optik aracın bu şekilde oluşabileceğine inanamaz mıyız?

Neden Yaşlanırız?

Tıpkı göz gibi genç yetişkinlerin bedenleri de bir bütün olarak, neredeyse mükemmel birer biyolojik mekanizma olmalarıyla bizi etkiler. Bu mükemmele yakın durumu açıklama sorununun yanı sıra karşımıza çıkan bir diğer sorun, bu mükemmelliğin yaşam sırasında uzun bir süre korunamamasıdır. Evrim bunun olmasına neden izin verir? Neredeyse mükemmel bir yaratığın yaşlanmanın sonucu olarak kendi kendisinin cılız bir gölgesine doğru gerilemesi şairlerin gözde konularından biri olmuştur; özellikle de bu durumun âşıkların başına geldiğini öngördüklerinde:

Düşünmeden edemem senin güzelliğini:
Sen de çökersin vaktin yıkıp geçtikleriyle,
Çünkü tatlı ve güzel, her şey harcar kendini,
Yetişen tazeleri görüp koşar ecele.
  Kimse karşı koyamaz Zamanın tırpanına
  Kendi soyun direnir O kıyarken canına.*

Sone 12, William Shakespeare

Yaşlanma insanlarla sınırlı bir olgu değildir elbette; tüm bitki ve hayvanlarda gözlenmiştir. Yaşlanmayı ölçmek

* Shakespeare, Tüm Soneler, çev. Talât Sait Halman, Cem Yayınevi, 1989.

için, avlanma gibi "harici" ölüm nedenlerinin ortadan kaldırıldığı ve böylece bireylerin doğadakinden çok daha uzun süre yaşadıkları korunaklı bir ortamda tutulan çok sayıda bireyi inceleyebiliriz. Bu bireyleri zaman içerisinde izlediğimizde çeşitli yaşlardaki ölüm olasılıklarını saptayabiliriz. Korunaklı ortamlarda bile ölüm oranları çok genç bireyler için genellikle alışılmadık derecede yüksek olur; gençlerin yaşı ilerledikçe ve bedenleri büyüdükçe oranlar oldukça geriler, ama yetişkinliğin ardından yeniden tırmanışa geçer. Dikkatle izlenmiş türlerin çoğunda yetişkinlerde ölüm oranı yaşla birlikte düzenli olarak artar. Ama farklı türlerde ölüm oranı modellerinde büyük farklar görülür. Görece genç yaşlarda ölüm oranları fare gibi küçük ve kısa ömürlü organizmalarda bizim gibi büyük ve uzun ömürlü organizmalara kıyasla çok daha yüksektir.

Ölüm oranlarında yaşla birlikte görülen bu artış çeşitli biyolojik işlevlerin ilerleyen yaşla birlikte gerilemesinden kaynaklanır: kas gücünden zihinsel yeteneklere dek neredeyse her şey kötüye gider. Çokhücreli organizmalarda yaşlanmanın neredeyse evrensel olarak görülmesi (ki bu bir tür bozulma gibi görünmektedir) evrim kuramı için ciddi bir zorluk gibi görünebilir –doğal seçilimin uyarlanmanın gelişmesine neden olduğu düşüncesiyle çelişmektedir. Bu soruya verilebilecek yanıtlardan biri, uyarlanmanın asla mükemmel olmadığıdır. Yaşlanma kısmen, hayatta kalmak için ihtiyaç duyulan sistemlerde oluşan hasarın birikmesinin kaçınılmaz sonucudur ve belki de seçilim bunu engelleyememektedir. Gerçekten de örneğin araba gibi karmaşık makinelerde yıllık bozulma olasılığı canlı organizmalardaki ölüm oranlarına benzer şekilde yaşla birlikte artar.

Ama tüm öykü bundan ibaret olamaz. Bakteri gibi tek-hücreli organizmalar yalnızca yavru hücrelere bölünerek ürerler ve bu bölünmelerden üretilen hücre soyları milyarlarca yıl boyunca varlığını korumuştur. Yaşlanmazlar, ama hasarlı bileşenleri sürekli olarak yenileriyle değiştirirler. Zararlı mutasyonların seçilim yoluyla ortadan kaldırılması şartıyla sonsuza dek çoğalabilirler. Meyve sineği gibi bazı organizmaların yapay olarak üretilmiş hücrelerinde de bu mümkündür. Çokhücreli organizmalarda üreme hücresi soyları da her kuşakta sürdürülür; öyleyse organizmanın tümü için onarım mekanizmaları neden olmasın? Beden sistemlerimizin çoğunda yaşla birlikte gerileme neden görülsün? Örneğin, yaşla birlikte memelilerin dişleri yıpranır ve sonunda, doğada açlıktan ölmelerine yol açar. Kaçınılmaz bir durum değildir bu; sürüngenlerin dişleri zaman zaman yenilenir. Farklı türlerde yaşlanma hızının farklı olması onarım süreçlerinin etkinliklerinin farklılığına ve ilerleyen yaşla birlikte bunların ne derece korunduklarına bağlıdır: bir fare en fazla üç yıl yaşamayı bekleyebilir, bir insansa 80 yıldan fazla yaşayabilir. Türlere bağlı bu farklılıklar, yaşlanmanın evrimleştiğine işaret eder. Bu nedenle yaşlanma için de evrimsel bir açıklama getirilmesi gerekmektedir.

5. Bölüm'de çokhücreli organizmalarda doğal seçilimin bireylerin bir sonraki kuşağa katkıları, yani ürettikleri yavru sayısındaki fark ve ayrıca hayatta kalma şansları üzerinden işlediğini görmüştük. Üstelik, tüm bireyler kaza, hastalık ve avlanma sonucu ölme riskiyle karşı karşıyadır. Bu tür nedenlerden ötürü ölme olasılığı yaşa bağlı olmasa bile, arabalarda olduğu gibi bizde de hayatta kalma olasılığı yaş

ilerledikçe azalır: bir yıldan diğerine hayatta kalma olasılığı % 90'sa, beş yıl hayatta kalma olasılığı % 60, ama 50 yıl hayatta kalma olasılığı yalnızca % 0.5tir. Dolayısıyla, iyi etkilerden faydalanacak yaşayan birey sayısı daha fazla olacağı için, seçilim yaşamın ileri safhalarından çok erken safhalarında hayatta kalma ve üremeyi kayırır. Kazalara, hastalıklara ve avlanmaya bağlı ölüm oranı ne kadar fazlaysa, seçilim yaşamın erken safhalarındaki geliştirimleri geç safhalarındakilere kıyasla o kadar daha fazla kayıracaktır, zira bu harici nedenlerin yol açtığı ölüm oranının yüksek olması durumunda pek az birey ileri yaşlara dek hayatta kalabilecektir.

Bu görüşe göre yaşlanmanın gelişmesinin nedeni, hayatta kalma ve üreme üzerinde yaşamın erken safhalarında olumlu etki gösterecek değişkenlerin yaşamın geç safhalarında etkili olanlara kıyasla seçilim açısından daha değerli olmasıdır. Bildiğimiz hayat sigortası fikrine benzer bu kavram: önünüzde prim ödemesi yapacağınız pek çok yıl olması nedeniyle gençken daha ucuza sigorta alırsınız. Doğal seçilim yaşlanmaya iki şekilde neden olabilir. Yukarıdaki savunu, zararlı etkileri bulunan mutasyonların etkilerini yaşamın erken safhalarında göstermeleri durumunda daha güçlü bir karşı seçilime maruz kalacaklarını göstermektedir. Seçilimin yaşlanmaya neden olabileceği ilk yol, erken yaşta görülen mutasyonları popülasyon içerisinde düşük, etkileri yaşamın ilerleyen aşamalarında görülenleriyse yüksek düzeyde tutmaktır. Gerçekten de insanlarda yaygın olarak görülen pek çok genetik hastalığın nedeni, Alzheimer hastalığında olduğu gibi, zararlı etkileri yaşamın ileri bölümlerinde ortaya çıkan mutasyonlardır. İkinci olarak, yaşamın

erken aşamalarında yararlı etkiler gösteren değişkenlerin popülasyon içerisinde yayılma olasılığı, iyi etkileri ancak yaşlılıkta görülenlere kıyasla daha fazla olacaktır. Yaşamın erken aşamalarıyla ilgili ilerlemeler, sonraki aşamalarda ortaya çıkacak zararlı yan etkileri olmasına rağmen gelişebilir. Örneğin, bazı üreme hormonlarının düzeylerinin yüksekliği yaşamın erken safhalarında kadınların doğurganlıklarını artırabilir, ama sonraki safhalar için göğüs ve yumurtalık kanseri riski getirir. Deneyler bu öngörüleri doğrulamaktadır. Örneğin, meyve sineği *Drosophila melanogaster* popülasyonlarının yalnızca çok yaşlı bireylerden üreme yapılarak sürdürülmesi mümkündür. Birkaç kuşak sonra bu popülasyonlarda yaşlanma yavaşlar, ama bunun bedeli yaşamın erken safhalarındaki üreme başarısının azalmasıdır.

Yaşlanmayla ilgili evrim kuramı, harici nedenlere dayalı ölüm oranlarının düşük olduğu türlerin, harici nedenlere dayalı ölüm oranlarının yüksek olduğu türlere kıyasla daha yavaş yaşlanma hızı ve daha uzun ömür geliştirmeleri gerektiğini öngörür. Beden büyüklüğüyle yaşlanma hızı arasında gerçekten de güçlü bir ilişki bulunmaktadır; küçük hayvan türleri büyük türlere göre genellikle çok daha hızlı yaşlanır ve daha erken yaşta ürerler. Bu durum, pek çok küçük hayvanın kazalara ve avlanmaya daha açık olmasından kaynaklanıyor olabilir. Benzer beden büyüklüklerindeki türler karşılaştırıldığında, yaban ortamında ölüm oranları farklı olan hayvanlar arasında yaşlanma hızında farklılıklar görülmesi, avlanma risklerini göz önüne aldığımızda mantıklı görünmektedir. Pek çok uçan canlı türü uzun ömürleriyle ünlüdür; uçma pek çok avcıya karşı çok iyi bir savunma yolu olduğundan bu durum mantıklıdır.

Papağan gibi oldukça küçük bir canlının ömrü insanlarınkinden uzun olabilmektedir. Yarasalar da fare gibi benzer beden ağırlığındaki kara memelilerinden çok daha uzun yaşarlar.

Bizler de daha yavaş bir yaşlanma hızı evriminin örnekleri olabiliriz. En yakın akrabalarımız olan şempanzeler tutsaklık ortamında 50 yaşını ender olarak geçer ve üremeye insanlara kıyasla daha erken, ortalama olarak 11 yaşında başlarlar. Dolayısıyla insanlarda insansımaymunlarla ortak atamızdan farklılaşmamızdan sonra yaşlanma hızı olasılıkla önemli oranda düşmüş ve üreme olgunluğu ertelenmiştir. Bu değişimler muhtemelen, harici ölüm nedenlerine karşı zayıflığı azaltıp genç yaşta üremenin avantajını azaltan zekâ artışının ve işbirliği yetisinin sonuçlarıdır. Günümüz toplumlarında erken üreme-geç üremenin karşılaştırmalı avantajlarında görülen bir değişim saptanabilmekte ve hatta ölçümlenebilmektedir. Sanayileşme yetişkinler arasında ölüm oranlarında, nüfus verilerine de yansımış olan çarpıcı bir gerileme yaratmıştır. Bu da insan popülasyonlarında yaşlanma sürecini etkileyen doğal seçilimi değiştirir. Ender görülen mutant bir genin yol açtığı dejeneratif bir beyin hastalığı olan Huntington hastalığı örneğini inceleyelim. Bu hastalığın başlangıç yaşı ileridir (30'lu yaşlar ya da sonrası). Hastalık ve kötü beslenmeye dayalı ölüm oranlarının yüksek olduğu bir popülasyonda pek az birey 40'lı yaşlarına dek hayatta kalır ve Huntington hastalığının taşıyıcılarının ortalama olarak, etkilenmemiş bireylere kıyasla yalnızca biraz daha az (%9) çocuğu olmaktadır. Ölüm oranlarının düşük olduğu sanayileşmiş toplumlarda insanlar daha çok hastalığın ortaya çıkabileceği

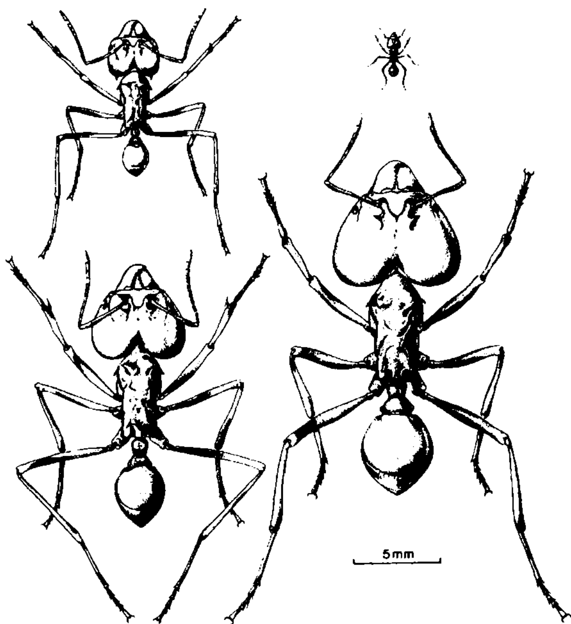
yaşlarda çocuk sahibi olmaktadırlar ve sonuçta etkilenen bireylerin etkilenmeyen bireylere kıyasla ortalama olarak % 15 daha az çocuğu olmaktadır. Mevcut şartların sürmesi durumunda seçilim zamanla, etkileri üreme hayatının ileri safhalarında ortaya çıkan mutant genlerin görülme sıklığını düşürecek ve ileri yaştaki bireylerin hayatta kalma oranları yükselecektir. Huntington hastalığı gibi önemli etkileri olan ender genler bir bütün olarak popülasyon üzerinde yalnızca küçük bir etki yaratır, ama kalp hastalıkları ve kanser de dahil olmak üzere en azından kısmen genetik etmenlere bağlı olan başka pek çok hastalık ağırlıklı olarak ileri ve orta yaşlardaki kişileri etkilemektedir. Bu doğal seçilim sonucunda bu genlerin görülme sıklığının zamanla gerilemesini bekleyebiliriz. Sanayileşmiş toplumların özelliği olan düşük ölüm oranları yüzyıllarca sürerse (ki bu tartışmalı bir varsayımdır) daha düşük yaşlanma hızları yönünde yavaş ama istikrarlı bir genetik değişim yaşanacaktır.

Kısır Toplumsal Sınıfların Gelişmesi

Evrim kuramında karşılaşılan bir diğer sorun, bir dizi sosyal hayvan grubunda görülen kısır bireylerdir. Sosyal yabanarıları, arılar ve karıncalarda dişilerin bazıları işçidir ve üremezler. Üreyen dişiler koloni içerisinde küçük bir azınlık oluşturur (genellikle yalnızca tek bir kraliçe vardır); işçi dişiler kraliçenin yavrularına bakar ve yuvanın ihtiyaçlarını karşılarlar. Bir başka önemli sosyal böcek türü olan termitlerde hem dişi hem de erkekler işçi rolünü üstlenebilir. Gelişmiş sosyal böceklerde genellikle çok sayıda farklı

sınıf görülür; bu sınıfların her biri farklı roller üstlenir ve davranış, boyut ve beden yapılarındaki farklılıklarla birbirlerinden ayırt edilebilirler (Şekil 21).

Yakın zamanlarda, ortak yuva kuran birkaç memeli türünün örgütlenmelerinin de bu böceklere benzediği ve bir yuvanın sakinlerinin çoğunun kısır olduğu keşfedilmiştir. Bunlardan en ünlüsü, güney Afrika'nın çöl alanlarında ya-



21. Aynı koloniden *Atta* adlı yaprak kesici karıncalarda işçi sınıfları. En üstteki küçük işçi bu türün yetiştirdiği mantar bahçelerine bakar. Dev bireylerse yuvayı koruyan asker karıncalardır.

şayan bir kemirgen türü olan kılsız köstebektir. Bir yuvanın düzinelerce sakini olabilir, ama üreyebilen tek bir dişi vardır. Bu dişinin ölmesi durumunda diğer dişilerden bazıları onun yerini almak için mücadele ederler ve aralarından biri galip gelir. Dolayısıyla, kısır işçilerin görüldüğü sosyal hayvanlar sistemleri oldukça farklı hayvan gruplarında gelişmiştir. Bu türler doğal seçilim kuramı açısından bariz sorunlar yaratırlar. Bireyler üremeden vazgeçecek şekilde nasıl evrimleşebilirler? İşçiler üremediklerine ve bu nedenle doğrudan doğal seçilime tabi olmaları mümkün olmadığına göre, işçi sınıflarının uzmanlaşmış rollerine uyarlanmaları nasıl gelişmiş olabilir?

Darwin *Türlerin Kökeni*'nde bu soruları sormuş ve kısmen yanıtlamıştır. Yanıt, örneğin kılsız köstebek yuvası ya da karınca yuvası gibi bir toplumsal grubun üyelerinin genellikle yakın akrabalar olmaları, çoğunlukla aynı anne ve babadan gelmeleridir. Taşıyıcılarının kendi üreme başarılarından vazgeçerek akrabalarının yetiştirilmesine yardım etmelerine neden olan bir genetik varyant akrabaların genlerinin bir sonraki kuşağa geçmesine yardım edebilir ve (bu akrabalık nedeniyle) akrabaların genleri yardımcı bireyin genleriyle genellikle aynıdır (kardeşlik örneğinde, bir birey ebeveynlerden birinden miras aldığı genetik bir varyanta sahipse, varyantın diğerinde de görülmesi olasılığı yarı yarıyadır). Kısır bireylerin yaptıkları fedakârlık hayatta kalan ve başarıyla üreyen akrabalarının sayısında yeterli düzeyde bir artış yaratıyorsa, "işçi geni" kopyası sayısındaki artış kendi üreme başarılarını kaybetmeleri nedeniyle oluşan kaybı bastırabilir. Akrabalık derecesi yakınlaştıkça, kaybın bastırılması için gereken artış düzeyi küçülür. J.B.S

Haldane, "İki erkek kardeş ya da sekiz kuzen için hayatımı verirdim," demiştir.

Bu *akraba seçilimi* ilkesi sosyal hayvanlarda kısırlığın kökeninin anlaşılması için bir çerçeve sunmaktadır ve günümüzde yapılan araştırmalar kısır sınıflar kadar aşırı olmayan özellikler de dahil olmak üzere hayvan toplumlarının pek çok ayrıntısına bu ilkenin açıklama getirebileceğini göstermiştir. Örneğin bazı kuş türlerinde genç erkekler çiftleşmeye çalışmak yerine küçük kardeşlerinin bakımında "yardımcı" olmak üzere yuvada kalırlar. Aynı şekilde, yaban köpekleri sürünün diğer üyeleri avlanmaya gittiğinde yavrulara bakarlar.

Kısır işçi sınıfları arasındaki farklılıkların nasıl ortaya çıktığı sorusu bundan biraz farklıdır, ama yine bağlantılı bir yanıtı bulunmaktadır. Belli bir işçi sınıfının üyesi olarak gelişmek bireye larva döneminde verilen yiyecek miktarı ve niteliği gibi çevre şartlarına bağlıdır. Ama bu tür şartlara tepki verme yetisi genetik olarak belirlenir. Belli bir genetik varyant bir karınca kolonisinin kısır bir üyesine işçi yerine diyelim ki (çenesi sıradan işçilerden daha büyük olan) bir asker olarak gelişme potansiyelini kazandırabilir. Askerleri olan bir koloni düşmanlarından daha iyi korunabiliyorsa ve bu varyantın görüldüğü koloniler ortalama olarak daha fazla üreyebilen birey üretebiliyorlarsa, bu varyant koloninin başarı şansını artıracaktır. Üreme açısından faal bireyler işçilerin yakın akrabalarıysa, koloni bazı işçileri asker olmaya yönlendiren genetik varyantı yeni koloniler kuran erkekler ve kraliçeler yoluyla aktaracaktır. Böylece seçilim bu varyantın tür içerisindeki koloniler arasında temsil düzeyini artıracaktır.

Çokhücreli organizmaların tekhücreli atalardan evrimleşmesi de bu savlarla açıklanabilir. Bir yumurtayla bir spermin birleşmesinden üretilen hücreler arasındaki bağlantı sürer ve aralarından çoğu, cinsiyet hücreleri olma ve sonraki kuşağa doğrudan katkıda bulunma yetisini yitirir. Söz konusu hücrelerin tümü genetik olarak aynı olduğundan, bağlantılı hücreler grubunda hayatta kalma ve üreme yetisinin tekhücreli alternatife kıyasla yeterince artması durumunda bu avantajlı olacaktır. Üremeyen hücreler kendi üreme yetilerini hücre topluluğu yararına "feda" ederler. Aralarından bazıları gelişim süreci sırasında, dokular oluşup dağılırken ölmeye mahkûmdur ve pek çoğu, yaşlanmanın evrimini tartışırken açıkladığımız gibi, bölünme potansiyelini kaybeder. Hücrelerin organizmaya aldırmadan bölünme yetisini yeniden kazanmaları durumunda organizmanın karşılaşacağı ciddi sorunlara kanser iyi bir örnektir. Gelişim sırasında hücrelerin farklı tiplere ayrılması, sosyal böceklerin sınıflara ayrılmasına benzer.

Canlı Hücrelerin Kökeni ve İnsan Bilincinin Kökeni

Evrim konusunda, yaşam tarihinin iki zıt ucunda yer alan diğer iki önemli ve henüz tam olarak çözülememiş sorun, canlı hücrelerin temel özelliklerinin kökeni ve insan bilincinin kökenidir. Biraz önce tartıştığımız soruların aksine, yaşam tarihinde benzeri görülmeyen olaylardır bunlar. Benzersizlikleri, yaşayan türler arasında karşılaştırma yaparak nasıl gerçekleşmiş olabilecekleri konusunda sağlam çıkarımlarda bulunamamamız anlamına gelir. Ayrıca, yaşa-

mın çok erken tarihi ve insan davranışı için fosil kayıtlarının bulunmaması nedeniyle, ilgili olayların tarihsel sıralaması konusunda dolaysız bilgimiz bulunmamaktadır. Bu bizi neler olmuş olabileceğini tahmin etmekten alıkoymaz elbette, ama bu tür tahminlerin evrimle ilgili diğer sorunlar konusunda anlattığımız fikirlerle aynı yollara başvurularak sınanması mümkün değildir.

Yaşamın kökeni örneğinde, günümüzde sürdürülen araştırmaların çoğunda amaç, Yerküre'nin tarihinin erken dönemlerinde hâkim olmuş ve tıpkı bizim hücrelerimizin DNA'sının hücre bölünmesi sırasında kopyalanması gibi kendi kendilerini kopyalayabilecek moleküllerin kimyasal olarak birleşmesine izin vermiş olan şartlara benzer şartlar bulmaktır. Bu tür kendi kendini kopyalayabilen moleküllerin oluşmasından sonra farklı türlerde moleküller arasındaki rekabetin daha hızlı ve doğru şekilde kopyalanabilen moleküllerin gelişmesini sağladığını hayal etmek hiç güç değildir. Kimyacılar, (erken dönemdeki Yerküre'nin okyanuslarında bulunması olası tipte) basit molekül çözeltilerinin elektrik kıvılcımlarına ve morötesi ışınıma maruz bırakılması sonucunda yaşamın temel kimyasal tuğlalarının (şekerler, yağlar, aminoasitler ve DNA'yla RNA'nın bileşenleri) oluşturulabileceğini kanıtlamakta çok başarılı oldular. Bunların RNA ya da DNA'ya benzeyen daha da karmaşık moleküllerde nasıl birleşebileceği konusunda kısıtlı bir ilerleme kaydedilebildi; bu tür moleküllerin kendi kendilerini kopyalamalarını sağlamakta daha da az başarılı olundu ve bu nedenle arzulanan hedeflere ulaşmaktan hâlâ uzaktayız (ama bu alanda sürekli ilerleme kaydediliyor). Üstelik, bu hedefe ulaşıldıktan sonra da, kısa bir RNA

ya da DNA dizilişinin basit bir protein zinciri dizilişini belirlemesini sağlayan ilkel bir genetik kodun nasıl geliştirilebileceği sorusunun yanıtlanması gerekiyor. Bu konuda pek çok fikir var, ama henüz kesin bir yanıt bulunabilmiş değil.

Aynı şekilde, insan bilincinin evrimi konusunda da ancak tahminlerde bulunabiliriz. Bilincin tam olarak tanımlanması son derece zor olduğundan, sorunun yapısının açıkça tanımlanması bile çok güç. Çoğu insan yeni doğmuş bir bebeği bilinç sahibi olarak görmeyecektir; iki yaşındaki bir çocuğun bilincinin olduğunuysa çok az kişi tartışacaktır. Hayvanlarda ne düzeyde bilinç olduğu konusu şiddetle tartışılmaktadır, ama hayvan sahipleri köpeklerin ya da kedilerin sahiplerinin arzularına ve ruh hallerine tepki verebildiklerini gayet iyi bilirler. Evcil hayvanlar görünüşe bakılırsa, sahiplerini kendi istedikleri şeyleri yapmaya bile yönlendirebilmektedirler. Dolayısıyla bilinç muhtemelen türden çok derece konusu ve bu nedenle ilke olarak, atalarımızın evrimi sırasında benlik farkındalığının ve iletişim kurma yetisinin aşamalı olarak güçlenmesini hayal etmek çok güç değil. Kimileri dil yeteneğini gerçek bir bilince dair en güçlü kriter olarak görecektir; bu bile bebeklerde büyük bir hızla olsa bile yaşla birlikte aşamalı olarak gelişir. Üstelik, basit bilgi parçalarını iletmeyi öğrenebilen papağan ve şempanze gibi hayvanlarda basit bir dil yetisine dair açık işaretler görülmektedir. Bizimle gelişmiş hayvanlar arasındaki uçurum gerçek olmaktan çok görünüştedir.

İnsanın hayvanları çok gerilerde bırakan zihinsel ve dilsel yetilerini teşvik eden seçilim güçleri hakkında hiçbir şey bilmesek de, bunların evrimsel terimlerle açıklanma-

sında özel bir güçlük bulunmamaktadır. Biyologlar beynin işleyişini anlamakta hızla ilerleme kat ediyorlar ve her tür zihinsel faaliyetin beyindeki sinir hücrelerinin faaliyetlerine dayanılarak açıklanabileceğine pek fazla kuşku yok. Bu faaliyetler beynin gelişimini ve işleyişini belirleyen genlerin kontrolüne tabi olmalı; diğer genler gibi bunlarda da, seçilimin üzerinde çalışabileceği varyasyonlara yol açan mutasyonların olması mümkün. Bu artık saf hipotezden ibaret değil: taşıyıcılarının konuşmalarında belli gramer unsurlarında bozukluğa yol açan mutasyonlar bulundu ve gramerin bazı yönlerinin kontrolüyle bağlantılı bir gen saptandı. Bu genin DNA dizilişindeki, normalden farklı olmasına yol açan mutasyon bile biliniyor.

VIII. Bölüm

SONSÖZ

Darwin'le Wallace'ın fikirlerini ilk kez yayınlamalarından bu yana geçen 140 yıl içinde evrim hakkında ne öğrendik? Daha önce de görmüş olduğumuz gibi, günümüzdeki görüş pek çok açıdan onların görüşlerine çok benziyor ve doğal seçilimin yapıların, işlevlerin ve davranışların evrimini yönlendiren başlıca güç olduğu yönünde güçlü bir fikir birliği görülüyor. O zamandan bu yana gözlenen başlıca fark, genetik maddedeki rasgele mutasyonlar üzerinden hareket eden seçilim yoluyla evrim süreci düşüncesinin iki ilerleme sayesinde 20. yüzyıl başına kıyasla artık çok daha inanılır olması. İlk olarak, doğal seçilimin protein moleküllerinden karmaşık davranış modellerine dek biyolojik örgütlenmenin her düzeyindeki etkilerini gösteren daha fazla veri var elimizde. İkinci olarak, Darwin'le Wallace için bir gizem olan kalıtım mekanizmasını bizler artık anlayabiliyoruz. Genetik bilginin DNA'da nasıl depolandığından, belirlediği proteinler aracılığıyla ve üretim düzeyle-

rini düzenleyerek organizmanın özelliklerini nasıl kontrol ettiğine dek, kalıtımın pek çok önemli yönü artık ayrıntılı olarak anlaşılabiliyor. Ayrıca, DNA dizilişlerindeki pek çok değişimin organizmanın işleyişinde çok az etkisi olduğunu ya da hiç etkisi olmadığını ve bu nedenle rasgele genetik sürüklenme süreci sonucunda dizilişlerde evrimsel değişimlerin gerçekleşebileceğini artık anlayabiliyoruz. DNA dizi analizi teknolojisi genetik maddenin varyasyonunu ve evrimini inceleyebilmemizi ve diziliş farklılıklarını kullanarak türler arasındaki şecere ilişkilerini yeniden kurabilmemizi sağlıyor. Kalıtım hakkındaki bu bilgiler ve doğal seçilimin organizmaların fiziksel ve davranışsal özelliklerinin evrimini teşvik ettiği hakkındaki anlayışımız, bu tür özelliklerin sadece genetik olarak belirlendiği anlamına gelmez. Bu genler bir organizmanın sergileyebileceği olası özellik aralığını belirler yalnızca; gerçekten görülen özellikler genellikle, organizmanın kendini içinde bulduğu ortama bağlıdır. Gelişmiş hayvanlarda öğrenmek davranışta önemli bir rol üstlenir, ama öğrenilebilecek davranış aralığı hayvanın beyin yapısıyla ve beyin yapısı da hayvanın genetik yapısıyla kısıtlıdır. Bu durum türler arasındaki karşılaştırmalarda da geçerlidir elbette: köpekler hiçbir zaman konuşmayı öğrenemeyecekler (ya da insanlar uzaktan tavşan kokusunu alamayacaklar). İnsanlarda zihinsel özelliklerdeki farklılıklarda hem genetik etmenlerin hem de çevre etmenlerinin etkili olduğu yönünde güçlü kanıtlar bulunmaktadır; diğer hayvanlarda olduğu gibi bizim türümüzde de böyle olmasaydı şaşırtıcı olurdu. İnsanlarda değişkenliğin büyük bölümü yerel popülasyonlar içerisindeki bireyler arasında görülür ve popülasyonlar arasındaki

farklılıklar çok daha azdır. Dolayısıyla ırk gruplarını homojen, ayrı varlıklar olarak görmenin hiçbir temeli bulunmamaktadır; aralarından herhangi birine genetik "üstünlük" atfetmekse daha da temelsiz bir yaklaşımdır. Bilimin insanların toplumsal ve ahlaki konulardaki kararlarını belirleyemese bile bilgi sağlayarak etkilemesinin örneklerinden biridir bu.

Konuşma ve sembolik düşünebilme yetimiz gibi en insani özellikler olarak gördüğümüz özellikler ve ayrıca ailevi ve toplumsal ilişkilerimizi yönlendiren duygular, on milyonlarca yıl önce atalarımızın toplumsal gruplarda yaşamaya başlamalarıyla birlikte başlayan uzun bir doğal seçilim sürecini yansıtıyor olmalı. 7. Bölüm'de de gördüğümüz gibi, toplumsal gruplar içerisinde yaşayan hayvanlar, bir bireyin hayatta kalma ya da üreme başarısını bir başkası pahasına teşvik etme anlamında, bencilce olmayan davranış modelleri geliştirebilirler. Tıpkı ebeveynlerin çocuklarına bakmalarının pek çok hayvanda görülene benzer gelişmiş bir davranışı temsil etmesi gibi, bu tür özellikleri başkalarına karşı adillik olarak düşünmek, sosyal bir hayvan olma mirasımızın bir parçasıdır. Bunun insanların davranışlarının tüm ayrıntılarının genetik olarak kontrol edildiği ya da insan uygunluğunu artıran özellikleri temsil ettiği anlamına gelmediğini yeniden vurgulamak istiyoruz. Üstelik, insan davranışına getirilen evrimsel açıklamaların zorlu sınavlardan geçirilmesi son derece zor.

Evrimde ilerleme var mıdır? Yanıt, şartlı bir "evet" olacaktır. Daha karmaşık hayvan ve bitki türleri daha az karmaşık formlardan gelişmişlerdir ve yaşam tarihi en basit tipte prokaryot tekhücreli organizmalardan kuşlara ve me-

melilere doğru genel bir ilerleme gösterir. Ama doğal seçilim yoluyla evrim kuramında bunun kaçınılmaz olduğunu gösteren hiçbir şey yoktur ve bakteriler elbette hâlâ, sayıları en yüksek ve en başarılı olan canlılardır. Günümüz dünyasının bilgisayarlarının yanında çekiç gibi eski ama yararlı araçların varlıklarını hâlâ korumalarına benzeyen bir durumdur bu. Ayrıca, görme yetilerini kaybetmiş mağara hayvanları ya da bağımsız olarak var olabilmek için gerek duyulan yapı ve işlevlerin bulunmadığı asalaklar gibi, evrimsel olarak karmaşıklığın azalmasına dair pek çok örnek de bulunmaktadır. Daha önce de pek çok kez vurgulamış olduğumuz gibi, doğal seçilim geleceği öngöremez ve yalnızca, mevcut şartlar altında olumlu olan varyantları biriktirir. Göz örneğinde olduğu gibi, karmaşıklığın artması genellikle organizmanın daha iyi çalışmasını sağlar ve seçilim bu yönde yapılır. Bu işlev uygunluk açısından artık anlamlı olmadığındaysa ilgili yapının körelmesi şaşırtıcı olmayacaktır.

Evrim aynı zamanda acımasızdır. Seçilim avın duygularına hiç aldırmadan avcının av becerilerini ve silahlarını keskinleştirir. Asalakların, yoğun bir acıya yol açsa bile konaklarını istila etmek için dahice yöntemler geliştirmelerine neden olur. Yaşlanmanın gelişmesine yol açar. Doğal seçilim hatta, bir türün, ortam şartları kötüye gittiğinde soyunun tükenmesine yol açacak düzeyde düşük bir üreme oranı geliştirmesine bile neden olur. Yine de, fosil kayıtlarında ve günümüzde yaşayan canlı çeşitliliğinde gözler önüne serilen yaşam tarihi görüntüsü, bütün bunların Darwin'in deyişiyle "doğanın savaşından, açlık ve ölümden" doğmuş olmasına rağmen, 3 milyar yıllık evrimin sonuçları

karşısında hayrete kapılmamıza yol açar. Evrimi anlamak, evrimin kayıtsız güçlerinin üretmiş olduğu sonsuz canlılar aralığının bir parçası olarak doğadaki gerçek yerimizi öğretebilir bize. Bu evrim güçleri bizim türümüze benzersiz mantık yetisini kazandırmıştır; böylece öngörümüzü kullanarak "doğanın savaşı"nı hafifletebiliriz. Evrimin ürettiklerini takdir etmeli ve açgözlülüğümüz ya da aptallığımız yüzünden yok etmekten kaçınmalı, kendimizden sonra gelecekler için korumalıyız. Bunu yapamazsak, başka pek çok olağanüstü yaratığın yanı sıra kendi türümüzün de soyunu tüketebiliriz.